

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
MECÂNICA

Marcelo Navarro Santos Coutinho

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC NO PROCESSO DE
PINTURA DE UMA LINHA DE MONTAGEM DE ÔNIBUS**

Florianópolis

2011

Marcelo Navarro Santos Coutinho

**APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC NO PROCESSO DE
PINTURA DE UMA LINHA DE MONTAGEM DE ÔNIBUS**

Dissertação submetida ao Programa de
Pós-graduação de Engenharia
Mecânica da Universidade Federal de
Santa Catarina para a obtenção do
Grau de Mestre em Engenharia
Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Abelardo Alves
de Queiroz, Ph. D

Florianópolis

2011

Marcelo Navarro Santos Coutinho

APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC NO PROCESSO DE PINTURA DE UMA LINHA DE MONTAGEM DE ÔNIBUS

Esta Dissertação foi julgada adequada para obtenção do Título de “Mestre”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica.

Florianópolis, 09 de dezembro de 2011.

Prof. Abelardo Alves de Queiroz, Ph. D.
Orientador

Banca Examinadora:

Prof. João Carlos Espíndola Ferreira, Ph.D.
(EMC/UFSC)

Prof. Adrian Guillermo Ricardo, Dr. Eng.
Taktica Consultoria em Lean

Prof. Mônica Maria Mendes Luna, Dr. Eng.
(EPS/UFSC)

À Lisiana.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus pais, João Ernesto e Maria Aparecida, e a minha segunda mãe Maria Eliane pelo carinho, amor e conforto nas horas difíceis de minha jornada.

Aos meus avós Carlos *in memoriam* e Joana pela educação proporcionada no decorrer dos meus anos, pois tudo que tenho, devo à eles e pelo que sou hoje e serei amanhã.

Aos meus irmãos Maria Eduarda, Danielle e Renan pela amizade, companheirismo, preocupações, força e confiança depositados em mim.

Agradeço a Lisiana pelo carinho, amor, paciência e compreensão, a qual foi e é a fonte de inspiração na realização dos meus sonhos e foi a principal incentivadora para realização desta dissertação.

Agradeço ao Prof. Abelardo pelos ensinamentos acadêmicos, troca de experiência, pela dedicação e a orientação neste longo e árduo trabalho, pois sem o mesmo, certamente não seria possível atingir o nível almejado e necessário para a obtenção do título de mestre em engenharia mecânica, bem como aos colegas do grupo do GETEQ.

Aos professores que contribuíram e compuseram a teoria deste curso de mestrado.

Aos membros da banca examinadora, Adrian, João Carlos e Mônica pelo trabalho desenvolvido, o que permitiu que este chegasse a uma versão final melhor e aprimorada.

Agradeço aos colegas de trabalho do departamento de melhoria contínua da empresa onde foi realizado o estudo de caso, Karen Leidens, Denise Sevegnani e Gustavo Tomasi, em especial ao Benedito Violante por acreditar numa proposta diferente de trabalho, além de colegas de trabalho, tornaram-se grandes amigos.

Agradeço a todas as pessoas que de uma ou de outra forma contribuíram para que este sonho se tornasse uma realidade para mim.

Por fim, agradeço a Deus que me deu serenidade e tranquilidade para enfrentar os desafios ao longo de minha vida.

MUITO OBRIGADO!

"Estamos todos aqui neste planeta, por assim dizer, como turistas. Nenhum de nós pode morar aqui para sempre. Sendo assim, enquanto estamos aqui, deveríamos procurar ter um bom coração e fazer de nossas vidas algo de positivo e útil. A essência da vida é a emoção que existe dentro de você, é a sua atitude para com os outros. Se a sua motivação é pura e sincera, todo o resto vem por si. Pela prática verdadeira em sua vida diária o homem cumpre de fato a meta de toda religião, qualquer que seja ela ou que nome tenha. Somos os criadores da nossa própria felicidade."

(Dalai Lama)

RESUMO

O mercado mundial está cada vez mais competitivo, neste panorama as empresas objetivam reduzir custo, aumentar produtividade e qualidade, reduzir tempo de entrega ao cliente final, entre outras melhorias no sistema produtivo. Assim sendo, as empresas estão buscando adaptar seus sistemas de produção para conciliar as novas exigências do mercado, com aumento de eficiência nas suas operações através da implementação de boas práticas largamente conhecidas, como Mentalidade Enxuta e Seis Sigma. Esta dissertação refere-se a aplicação das ferramentas, princípios e conceitos da metodologia Seis Sigma, com o objetivo de reduzir falhas do sistema produtivo através da execução do ciclo DMAIC (*Define, Measure, Analyse, Improve, Control*). O principal objetivo da dissertação foi aplicar o método DMAIC para reduzir falha em sistema produtivo. A aplicação do método DMAIC no processo de pintura de uma linha de montagem de ônibus, resultou em uma redução de 65% do retrabalho no sistema produtivo escolhido. Em vista disso, a aplicação do método foi considerado um sucesso e muito positivo, abrindo caminho para multiplicação da aplicação do método no ambiente da empresa.

Palavras-chave: Sistema Produtivo, Seis Sigma, Falha e Ciclo DMAIC.

ABSTRACT

The world market is increasingly competitive, by this panorama companies aim to reduce cost, increase productivity and quality, reduce delivery time to the customer, among other improvements in the production system. Therefore, companies are seeking to adapt their production systems to accommodate the new market demands, increasing efficiency in their operations by implementing best practice widely known like Lean Thinking and Six Sigma. This paper refers to the application of tools, principles and concepts of Six Sigma methodology in order to reduce failures in production system through the implementation of DMAIC cycle (Define, Measure, Analyse, Improve, Control). The main aim of this work was to apply the DMAIC method to reduce failures in production system. The application of DMAIC method in painting process of a bus assembly line, resulted in a rework reduction of 65% in the production system chosen. As a result, the method was considered a success and very positive, paving the way for the multiplication of the method in the enterprise environment.

Keywords: Production System, Six Sigma, Failure and DMAIC Cycle.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – A “Casa” do Sistema Toyota de Produção.....	32
Figura 2 – Ciclo DMAIC	39
Figura 3 – Exemplo do Conceito Seis Sigma.....	40
Figura 4 – Ganhos obtidos com o Seis Sigma em diferentes empresas.....	42
Figura 5 – Exemplo de Diagrama de Ishikawa	48
Figura 6 – Exemplo da ferramenta 5 Porquê.....	49
Figura 7 – SIPOC.....	50
Figura 8 – Modelo de Redução de Retrabalho	54
Figura 9 – Seqüência de Aplicação do Método.....	55
Figura 10 – Módulo Indicadores de Desempenho.....	57
Figura 11 – Exemplo de gráfico de Pareto	58
Figura 12 – Exemplo de cálculo de nível sigma e DPMO	60
Figura 13 – Estratégia DMAIC	61
Figura 14 – Folha de Descrição do Projeto	63
Figura 15 – Voz do Cliente	64
Figura 16 – Mapa do Fluxo de Valor	65
Figura 17 – Diagrama SIPOC	65
Figura 18 – Matriz de Causa e Efeito.....	66
Figura 19 – Modelo do FMEA.....	69
Figura 20 – Exemplo de Gráfico de Controle Estatístico de Processo..	71
Figura 21 – Plano de Controle.....	71
Figura 22 – Diagrama de Solução de Problemas.....	72
Figura 23 – Indicador da Qualidade.....	76
Figura 24 – Cálculo de nível sigma e DPMO da Divisão Pintura	78
Figura 25 – Folha de Descrição do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura	80
Figura 26 – Voz do Cliente do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura	81
Figura 27 e 28 – Voz do Cliente realizada na área da Divisão de Pintura.	81
Figura 29 – Elaboração do Mapa de Fluxo de Valor da Divisão Pintura.	82
Figura 30 – Carros esperando Retrabalho na Divisão Pintura.....	82
Figura 31 – Elaboração do Mapa de Fluxo de Valor da Divisão Pintura.	84
Figura 32 – Área específica para realização do Retrabalho na Divisão Pintura.	85

Figura 33 – Diagrama SIPOC do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura.....	86
Figura 34 – Matriz de Causa e Efeito do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura.....	87
Figura 35 – Retrabalho por Falta de Tinta na Aplicação I na Divisão de Pintura.....	88
Figura 36 – Retrabalho por Falta de Isolamento na Fase I da Divisão de Pintura.....	88
Figura 37 – Retrabalho por Escorrido na Aplicação I da Divisão de Pintura.....	88
Figura 38 – Teste de Normalidade do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura.....	91
Figura 39 – Diagrama de Pareto do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura.....	92
Figura 40 – Gráfico de Tendência do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura.....	92
Figura 41 – FMEA do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura.....	94
Figura 42 – Plano de Melhorias do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura.....	95
Figura 43 – Treinamento de Sensibilização na Divisão Pintura	95
Figura 44 – Slide do Treinamento de Sensibilização para as Divisões de Montagem.....	96
Figura 45 – Gráfico de Controle Estatístico de Processo do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura.....	97
Figura 46 – Plano de Controle do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura.....	97
Figura 47 – Capacidade Final do Processo do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura.....	98
Figura 48 – Área específica para realização do Retrabalho na Divisão Pintura.....	100
Figura 49 – Resultado Financeiro	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dos sistemas de produção	33
Tabela 2 – Exemplos de falhas com o desempenho de quatro e seis sigma	41
Tabela 3 – Um exemplo da matriz de causa e efeito	51
Tabela 4 - Um exemplo do FMEA	52
Tabela 5 – Especificações por Tipo de Pintura	74
Tabela 6 - Folha de Coleta de Dados do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura	89
Tabela 7 - Dados da Amostra Antes do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura	90
Tabela 8 – Dados da Amostra Após o Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura	99
Tabela 9 - Comparativo da efetividade do projeto	103

LISTA DE ABREVIATURAS

5 S's	Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu, Shitsuke
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEP	Controle Estatístico de Processos
DMAIC	<i>Define, Measure, Analyse, Improve, Control</i>
DPMO	Defeitos por Milhão de Oportunidades
FMEA	<i>Failure Mode Effects Analysis</i>
GE	<i>General Electric</i>
LAP	Laboratório de Avaliação do Produto
LIC	Limite Inferior de controle
LSC	Limite superior de controle
MFV	Mapa de Fluxo de Valor
PDCA	<i>Plan, Do, Check, Act</i>
ppm	Partes por Milhão
STP	Sistema Toyota de Produção
SIPOC	<i>Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers</i>
TQC	<i>Total Quality Control</i>
VOC	Voz do Cliente

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	25
1.1 O AMBIENTE COMPETITIVO	25
1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	26
1.3 OBJETIVOS.....	28
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	29
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	31
2.1 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO.....	31
2.1.1 <i>Os Cinco Princípios da Mentalidade Enxuta</i>	33
2.2 OS DESPERDÍCIOS.....	35
2.3 ESTRATÉGIA SEIS SIGMA E O CICLO DMAIC	37
2.3.1 <i>Conceito Seis Sigma</i>	39
2.3.2 <i>Ciclo DMAIC</i>	42
2.3.2.1 <i>Definir</i>	43
2.3.2.2 <i>Medir</i>	44
2.3.2.3 <i>Análise</i>	45
2.3.2.4 <i>Melhorar (Improve)</i>	46
2.3.2.5 <i>Controlar</i>	47
2.3.3 <i>Ferramentas de Apoio</i>	48
2.3.3.1 <i>Diagrama de Ishikawa</i>	48
2.3.3.2 <i>5 Porquês</i>	49
2.3.3.3 <i>SIPOC</i>	49
2.3.3.4 <i>Matriz de Causa e Efeito</i>	50
2.3.3.5 <i>FMEA</i>	51
3 MÉTODO DE REDUÇÃO DE RETRABALHO EM SISTEMAS PRODUTIVOS ATRAVÉS DA METODOLOGIA SEIS SIGMA.....	53
3.1 ARQUITETURA DO MÉTODO	53
3.2 MÓDULO INDICADORES DE DESEMPENHO	56
3.2.1 <i>Métrica da Qualidade</i>	57
3.2.2 <i>Métricas Seis Sigma</i>	58
3.3 MÓDULO DE REDUÇÃO DE RETRABALHO	60
3.3.1 <i>Definir</i>	61
3.3.1.1 <i>Descrição do Projeto</i>	62
3.3.1.2 <i>Voz do Cliente</i>	63
3.3.1.3 <i>Mapa do Fluxo de Valor</i>	64
3.3.1.4 <i>SIPOC</i>	65
3.3.1.5 <i>Matriz de Causa e Efeito</i>	66
3.3.2 <i>Medir</i>	66

3.3.3 Analisar	67
3.3.3.1 Análise Estatística do Processo	68
3.3.3.2 Capacidade do Processo.....	68
3.3.3.3 FMEA.....	68
3.3.4 Melhorar	69
3.3.5 Controlar	70
3.3.5.1 Controle Estatístico de Processo	70
3.3.5.2 Plano de Controle.....	71
3.3.5.3 Diagrama de Solução de Problemas	71
4 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO ATRAVÉS DE UM ESTUDO DE CASO.....	73
4.1 A EMPRESA	73
4.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO	75
4.2.1 Módulo de Indicadores de Desempenho.....	76
4.2.2 Módulo de Redução de Retrabalho.....	78
4.2.2.1 Definir.....	79
4.2.2.1.1 Descrição do Projeto	79
4.2.2.1.2 Voz do Cliente.....	80
4.2.2.1.3 Mapa do Fluxo de Valor.....	81
4.2.2.1.4 SIPOC.....	85
4.2.2.1.5 Matriz de Causa e Efeito.....	86
4.2.2.2 Medir	89
4.2.2.3 Analisar.....	91
4.2.2.3.1 Análise Estatística do Processo.....	91
4.2.2.3.2 Capacidade do Processo.....	93
4.2.2.3.3 FMEA.....	93
4.2.2.4 Melhorar.....	94
4.2.2.5 Controlar	96
4.2.2.5.1 Controle Estatístico de Processo	96
4.2.2.5.2 Plano de Controle.....	97
4.2.2.5.3 Capacidade Final do Modelo Proposto.....	98
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	101
5.1 AVALIAÇÃO DO MÉTODO.....	102
5.2 CONCLUSÃO	104
5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	106
REFERÊNCIAS	108
APÊNDICE I – TABELA DE CONVERSÃO SEIS SIGMA	112

1 INTRODUÇÃO

1.1 O AMBIENTE COMPETITIVO

A competição entre as empresas por uma fatia do mercado é crescente a cada dia. Para isso, as empresas objetivam redução de custo, melhorias em produtividade e qualidade, redução no tempo de entrega ao cliente final. Assim sendo, as empresas estão buscando adaptar seus sistemas de produção para conciliar as novas exigências do mercado com eficiência de classe mundial em suas operações.

O termo classe mundial sugere a necessidade de satisfazer os mais altos padrões de produtividade e qualidade para poder participar da competição global. Esse novo padrão de produção de bens e serviços está fundamentado nos conceitos de flexibilidade, agilidade e produção enxuta e trouxe profundas modificações nas estruturas organizacionais das empresas para adaptação aos princípios da melhoria contínua.

Duas fortes correntes de melhoria contínua disputam ou aliam as vantagens de cada uma, a produção enxuta e a metodologia seis sigma são filosofias de constante aplicação e desenvolvimento nas empresas atualmente. Ambas foram desenvolvidas em tempos de crise e dificuldades financeiras. A primeira foi criada por um povo de cultura extremamente disciplinada e a segunda numa cultura obcecada por resultados.

Para Shingo (1996), a Produção Enxuta apresenta como objetivo principal a eliminação dos desperdícios ao longo do sistema produtivo, ou seja, eliminar os pontos que geram custos, porém não agregam valor ao produto.

Segundo Ohno (1997), os desperdícios da produção são classificados em sete tipos e a eliminação completa desses desperdícios pode aumentar a eficiência da produção por uma longa margem. Para alcançar seus objetivos algumas técnicas são adotadas, entre as principais, pode-se destacar o mapa de fluxo de valor, o fluxo contínuo de peças, troca rápida de ferramentas, seis sigma, entre outras.

De acordo com Harry e Schöeder (2000), o Seis Sigma é entendido como um processo de negócio que tem como foco principal aumentar a lucratividade da empresa através da redução da variabilidade dos seus processos. Esta sistemática consta de cinco etapas bem definidas e estruturadas de forma que, se seguidas com a disciplina necessária, levarão os líderes de processo e suas equipes a identificar as principais fontes de variação e perdas e, a partir daí, estabelecer ações para reduzi-las e controlá-las, garantindo, assim a sustentação dos ganhos obtidos.

A metodologia Seis Sigma é fundamentada na utilização de ferramentas de qualidade com base estatística, visando a diminuição da variabilidade do processo e conseqüentemente do desperdício gerado pelo mesmo. Sendo adotada por um número crescente de empresas, esta metodologia vem se demonstrando bastante eficiente, alcançando economias significativas para as empresas que a adotam.

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A função fundamental de qualquer negócio está baseada na geração de riqueza, o que possibilita sobrevivência da empresa, o seu crescimento e a sua perpetuidade.

Neste contexto, as filosofias de melhoria contínua foram desenvolvidas com o objetivo de melhorar e estabilizar sistemas produtivos através de incrementos nos níveis de produtividade e qualidade de produtos e processos.

Algumas filosofias de melhoria têm sido utilizadas nos negócios com objetivos que vão além da qualidade do produto. O Seis Sigma, por exemplo, utiliza ferramentas estatísticas aliadas a um processo disciplinado, cujo objetivo final é gerar resultados financeiros para a empresa.

Originalmente a produção enxuta e a metodologia seis sigma foram desenvolvidas e aplicadas em ambientes de alto volume, baixa variedade de produtos e alta repetibilidade de processos. A produção

enxuta nasceu na indústria automobilística e a metodologia seis sigma na indústria de produtos eletrônicos.

Além disso, ambas filosofias foram criadas para atender necessidades de melhoria em empresas para reverter situações de crise. A produção enxuta foi desenvolvida num ambiente pós guerra, no qual o Japão, um país derrotado na guerra contava com recursos limitados no sistema financeiro. Já a metodologia seis sigma surgiu para resolver problemas de uma empresa à beira da falência.

Segundo Womack e Jones (2004), a produção enxuta pode ser implementada em empresas industriais e de serviços de todos os segmentos, ou seja, desde a indústria automobilística com elevada repetibilidade de processos a hospitais com alta variabilidade de serviços.

Assim como a produção enxuta, a metodologia seis sigma vem sendo implementada em ambientes diferentes do originalmente desenvolvido, ou seja, sistemas produtivos com baixa padronização, baixa repetibilidade e processos predominantemente manuais. Estudos e aplicações nestes ambientes ainda são uma pequena parcela de toda contribuição publicada anualmente.

Neste contexto, o método desenvolvido nesta dissertação visa responder a pergunta de como solucionar os altos níveis de desperdícios em ambientes com baixa padronização, baixa repetibilidade de processo, alta dependência de especialidade técnica da mão-de-obra no processo de transformação de sistemas produtivos, através da metodologia Seis Sigma e suas ferramentas.

O projeto analisado nesta dissertação auxiliou a empresa a solucionar os problemas de retrabalho no departamento de pintura. A empresa em questão, uma montadora de carroceria de ônibus, tem uma característica singular no departamento de pintura, visto que cada cliente solicita um projeto de pintura diferente, ou seja, o departamento de pintura deve ser um ambiente extremamente flexível para atender às exigências do mercado.

A baixa padronização dos projetos de pintura e conseqüentemente, baixa repetibilidade de processo, dificulta a

introdução de automatização do processo de pintura. Desta forma, todo processo realizado no departamento de pintura é 100% manual, o que traz uma grande variabilidade no sistema produtivo da pintura, como por exemplo, nos níveis de espessura da camada de pintura estabelecidos no projeto.

Além disso, existem três tipos de processo de pintura: pintura lisa, pintura metálica e pintura perolizada, no qual cada tipo de processo tem um procedimento diferente para aplicação.

No departamento de pintura também é realizada toda personalização do projeto de pintura, como logotipo do cliente e a numeração da carroceria, e este processo pode ser realizado pelo próprio departamento de pintura ou por adesivos comprados que são posteriormente fixados na carroceria.

1.3 OBJETIVOS

Após apresentado o contexto na seção anterior e ter definido os termos básicos que fazem parte do escopo do trabalho, só resta descrever os objetivos do mesmo.

O objetivo geral desta dissertação é aplicar o método DMAIC para detecção e redução de falhas em sistema de produção, baseado na metodologia Seis Sigma e apoiado nas práticas básicas de indicadores de desempenho.

Para se atingir este objetivo geral, torna-se necessário responder a questões associadas à aplicação da metodologia proposta e ao impacto de sua implantação nos resultados alcançados pela empresa. Sendo assim, os objetivos específicos deste trabalho, podem ser resumidos em:

- Verificar a utilização da aplicação da metodologia do Seis Sigma como forma de reduzir os falhas do sistema produtivo,
- Verificar a adaptação do método DMAIC em sistemas produtivos flexíveis, com baixo nível de automação e alta variabilidade de processos;
- Verificar a eficiência e resultados do método DMAIC;

- Verificar a relação do modelo entre a metodologia Seis Sigma e os indicadores de desempenho que são desdobramentos da estratégia da empresa.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Nesta seção é apresentada a estrutura da dissertação e o conteúdo de cada um dos capítulos que ela compõe. Esta metodologia utiliza uma abordagem compacta, prática e funcional que se adequa às necessidades das empresas de manufatura. A aplicação do método nesta dissertação dá ênfase à redução de falhas, e aplica a metodologia Seis Sigma para solução de problemas denominada DMAIC do inglês (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*).

A estrutura do documento está composta de cinco capítulos. Neste primeiro capítulo, é feita uma introdução ao contexto do trabalho, os objetivos do trabalho, assim como uma breve revisão dos conceitos que serão abordados ao longo do desenvolvimento dos capítulos restantes.

O capítulo 2 destaca a fundamentação teórica abordando principalmente o ciclo DMAIC que é o fundamento desta dissertação, além de traçar um paralelo com outras sistemáticas para identificação e redução de falhas.

No capítulo 3 descreve-se o método DMAIC para redução de falhas em sistemas produtivos, bem como as ferramentas empregadas em cada uma das etapas, assim como seus objetivos. Além de evidenciar a relação entre os módulos e as possíveis limitações encontradas.

O capítulo 4 apresenta a descrição do estudo de caso, no qual se descreve a implementação do método DMAIC baseado na metodologia Seis Sigma numa empresa localizada na região sul do Brasil. Neste capítulo também são demonstrados os resultados obtidos pela empresa estudada.

Finalmente o capítulo 5 contém as considerações finais, no qual é detalhado os resultados obtidos na aplicação. Além disso, é realizada uma avaliação do método e sugestões para trabalhos futuros.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão bibliográfica referente aos assuntos abordados para a realização desta dissertação. Entre os assuntos, destacam-se a evolução dos sistemas de produção, com ênfase na mentalidade enxuta, nos desperdícios e na estratégia seis sigma, assim como no detalhamento do ciclo DMAIC.

2.1 EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS DE PRODUÇÃO

A história da indústria mundial é dividida em três grandes fases: artesanato, produção em massa e produção enxuta. Na primeira fase os produtos eram fabricados por artesãos conforme a necessidade do cliente, na qual resultava em alta satisfação dos clientes, elevados custos de produção e produtos únicos. Na tentativa de solucionar os elevados custos de produção e atender uma quantidade maior de cliente, originou-se a produção em massa baseada na administração científica de Taylor e a intercambiabilidade de peças e facilidade de montagem de Ford. A fábrica de Highland Park chegou a produzir 2 milhões de unidades por ano do modelo T, um único produto com baixíssimo custo, o que ampliou a quantidade de clientes, mas reduziu a satisfação dos mesmos já que não tinham opções de produtos.

No esforço de criar opções de produtos aos clientes, Sloan descentralizou as operações e centralizou o planejamento na tentativa de adaptar a produção em massa à variedade de produtos, na qual resultou em aumento da satisfação dos clientes, mas por outro lado a divergência entre gerenciamento e chão de fábrica aumentou, além de fabricar para estoque e não conforme a demanda do cliente.

Na busca para solucionar a difícil equação entre satisfação dos clientes e sistemas produtivos eficientes, originou-se o Sistema Toyota de Produção, mais tarde chamado de *Lean* por Womack & Jones. Um sistema de produção que combina vantagens da produção artesanal e da produção em massa, trabalha com o mínimo de desperdícios e produz conforme a demanda do cliente.

Segundo Womack *et al.* (1992), a Mentalidade Enxuta mudou as regras de competição, no sentido de empregar equipes de trabalhadores multi-qualificados em todos os níveis da organização, além de máquinas altamente flexíveis e cada vez mais automatizadas, para produzir imensos volumes de produtos de ampla variedade. Ainda assim, com o objetivo de diminuir o lead time, melhorar a qualidade dos produtos e reduzir os custos por meio da eliminação do desperdício.

O termo Mentalidade Enxuta foi cunhado no início da década de 1990 para descrever o Sistema Toyota de Produção (STP) de Taiichi Ohno. Este é formado sobre dois pilares, Just-in-Time e Jidoka, e é normalmente ilustrado pela “casa” do STP, como mostra a Figura 1.

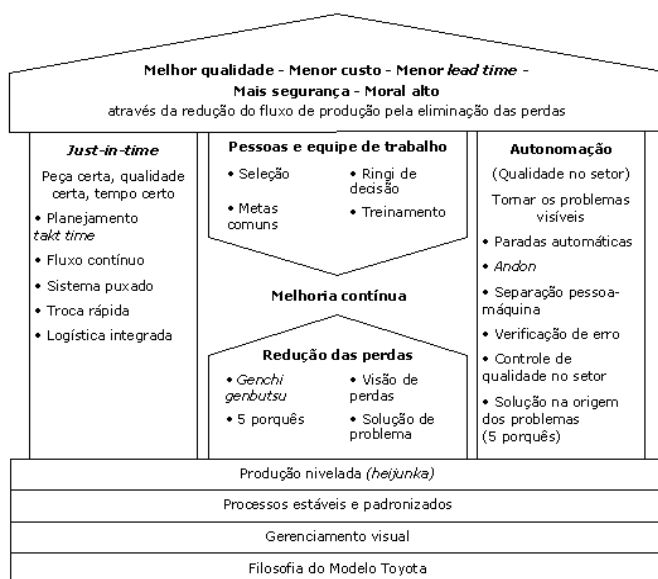


Figura 1 – A “Casa” do Sistema Toyota de Produção.

Fonte: Liker (2005).

Ainda segundo Womack *et al.* (1992) modelam a Mentalidade Enxuta como um sistema produtivo integrado, com enfoque no fluxo de produção, produção em pequenos lotes e como resultado, a um nível reduzido de estoques.

A Tabela 1 apresenta um comparativo entre os sistemas produtivos artesanal, em massa e a produção enxuta, no que se refere ao volume de produção, ferramentas, a qualidade do produto, flexibilidade produtiva, a capacidade intelectual dos funcionários, bem como o custo de produção.

Tabela 1 – Características dos sistemas de produção

	Artesanal	em Massa	Enxuta
Produção	Uma peça por vez	em Massa	Somente quando o cliente solicitar
Volume de produção	Baixo volume	Foco no volume de produção	Possibilita alto volume de produção, se existir
Ferramenta	Simple e flexível	Máquinas caras e pouco versáteis	Right Size Tools
Qualidade	O que puder ser feito	Bom o suficiente	Busca contante da perfeição
Cliente/Mercado	Produto definido pelo cliente	Produce uma opção padrão para o mercado	Produce diversas opções de produtos para escolha
Funcionário	Altamente especializado	Semi qualificado e trabalho monótono	Qualificado e multifuncional
Custo	Altíssimo	Baixo	Mais baixo ainda

Fonte: Womack *et al* (1992)

2.1.1 Os Cinco Princípios da Mentalidade Enxuta

Segundo Womack *et al* (2004), a Mentalidade Enxuta possui cinco princípios básicos descritos a seguir, que dão conteúdo ao pensamento enxuto, definidos por:

- Valor

O ponto de partida do pensamento enxuto é o valor e este só pode ser definido pelo cliente. Portanto, o pensamento enxuto deve começar com uma tentativa consciente de definir precisamente valor em termos de produtos, capacidade e preço específicos através do diálogo com clientes também específicos. Ao contrário do que tradicionalmente se faz, não se deve avaliar sob a óptica da empresa ou de seus departamentos.

- Fluxo de Valor

Identificar o fluxo de valor para cada produto, ou família de produtos, é o próximo passo no pensamento enxuto. O Fluxo de Valor é um conjunto de ações específicas necessárias para se levar um produto específico a passar pelas três tarefas gerenciais críticas em qualquer negócio: a tarefa de solução de problemas que vai da concepção até o lançamento do produto, a tarefa de gerenciamento da informação, que vai do recebimento do pedido até a entrega, e a tarefa de transformação física, que vai da matéria-prima ao produto acabado nas mãos do cliente.

Para Hines e Taylor (2000) a análise do fluxo de valor implica em enxergar o todo, e o mapeamento da cadeia mostra que ocorrem três tipos de ação ao longo de sua extensão:

1. Atividades que agregam valor: são aquelas que, aos olhos do cliente final, tornam o produto ou serviço mais valioso.

2. Atividades necessárias que não agregam valor: são aquelas atividades que, aos olhos do cliente final, não tornam o produto ou serviço mais valioso, mas que são necessárias a não ser que o processo atual mude radicalmente.

3. Atividades que não agregam valor: são as atividades que, aos olhos do cliente final, não tornam o produto ou serviço mais valioso, sendo desnecessárias nas atuais circunstâncias e devem ser eliminadas.

- Fluxo

Uma vez que o valor tenha sido especificado com precisão, o fluxo de valor de determinado produto totalmente mapeado pela empresa enxuta e, as etapas que geram desperdício eliminadas, chegou a hora de fazer com que as etapas restantes, que criam valor, fluam. Fazer fluir a produção significa fazer com que as etapas restantes, que criam valor, fluam em um fluxo de valor contínuo e estável. Idealmente, os produtos deveriam sempre fluir da matéria-prima ao produto acabado, em um fluxo sem interrupções, sem lotes e sem filas, com objetivo de reduzir, se possível, as atividades que não agregam valor que compõem a cadeia identificada.

- Puxar

Puxar significa que um processo inicial não deve produzir um bem ou serviço sem que o cliente de um processo posterior o solicite. Deixar com que o cliente puxe o que precisam no momento certo, permitindo que o produto seja puxado quando necessário, minimizando

os desperdícios comumente encontrados em sistemas “empurrados”. Utiliza-se o sistema puxado quando por alguma restrição específica do sistema produtivo não é possível aplicar o fluxo contínuo entre os processos.

- Busca pela Perfeição

Buscar a perfeição é fazer com que os quatro princípios anteriores interajam em um processo contínuo na eliminação dos desperdícios. A busca pela perfeição pode ocorrer por meio de melhorias contínuas, conhecidas como kaizen, ou por melhorias radicais, conhecidas como kaikaku.

2.2 OS DESPERDÍCIOS

O executivo da Toyota Taiichi Ohno, crítico do desperdício, identificou os sete primeiros tipos de desperdícios descritos a seguir segundo WOMACK *et al* (2004). Na seqüência, os sete tipos de desperdício são apresentados.

- Superprodução: significa produzir além das necessidades do próximo processo ou cliente e é a pior forma de desperdício, pois contribui para ocorrência dos outros seis (LÉXICO LEAN, 2003). A superprodução normalmente transmite a impressão de que todos os colaboradores e máquinas estão ocupados, trabalhando, e que as atividades fluem normalmente, mas na verdade estão distorcendo a verdade, mascarando os problemas.
- Espera: significa espera de operadores enquanto as máquinas operam, falhas no equipamento, peças necessárias que não chegam e interrompem o fluxo gerando desperdício. A espera constitui em períodos de ociosidade de pessoas, peças e informação desnecessários.
- Transporte: significa movimentação desnecessária de produtos ou peças. A elaboração de um layout adequado, que minimize as distâncias percorridas ajuda a reduzir este tipo de desperdício.

- **Estoque:** os estoques existem porque há uma diferença de ritmo entre o fornecimento e demanda. Se o fornecimento de qualquer item ocorresse exatamente quando fosse demandado, o item nunca necessitaria ser estocado (SLACK, 2002). Possuir estoques maiores que o mínimo necessário para manter as operações em fluxo é considerado desperdício, além disso, para se sustentar este estoque, é necessário um capital de giro, caracterizando um dinheiro parado, ou seja, perdas.
- **Retrabalho:** este desperdício pode causar inspeção ou refugo. Produtos ou peças defeituosas representam custo de matéria-prima, custo de mão de obra e custo máquina para empresa, quanto mais tarde for descoberto o efeito maior será o prejuízo para empresa.
- **Processamento:** A atividade de realizar etapas desnecessárias ou incorretas, geralmente em função do mau desenvolvimento dos projetos, sistemas ou procedimentos ruim. Nesse sentido, torna-se importante a aplicação das metodologias de engenharia e análise de valor, que consistem na racionalização de componentes ou operações necessárias para produzir determinado produto.
- **Movimentação:** Movimentação desnecessária de pessoas. Assim como o desperdício de transporte, a elaboração de um layout adequado, que minimize as distâncias percorridas ajuda a reduzir este tipo de desperdício.

Na maioria dos fluxos de valor, as atividades que realmente agregam valor para o cliente são uma pequena fração do total de atividades. Eliminar o grande número de desperdícios é a maior fonte potencial de melhoria de desempenho corporativo e do serviço ao cliente (LÉXICO LEAN, 2003). É importante destacar que é necessário diagnosticar as causas raízes dos desperdícios, enfrentá-las e solucioná-las pensando na eficiência sistêmica da organização.

2.3 ESTRATÉGIA SEIS SIGMA E O CICLO DMAIC

O Seis Sigma é uma metodologia para otimizar processos através da minimização de sua variabilidade e conseqüentemente redução de desperdícios. Atualmente, o mercado deixa claro à sua demanda através da seguinte mensagem “a necessidade do mercado é de produtos de alta qualidade e com baixo preço” e um número crescente de empresas em todo o mundo está aceitando este desafio, utilizando-se da metodologia Seis Sigma com a finalidade de melhorar o desempenho do negócio.

Segundo Barney (2002), o conceito Seis Sigma foi introduzido pelo engenheiro e cientista Bill Smith que pertencia à divisão de comunicações da Motorola, em 1986. Smith desenvolveu a estratégia para resolver o crescente número de reclamações relativas a defeitos no produto dentro do período da garantia. O método padronizou a forma de contagem dos defeitos e também definiu um alvo, onde a empresa se posicionaria em um nível próximo da perfeição o que foi denominado Seis Sigma.

Coronado (2002) reporta que a abordagem Seis Sigma foi desenvolvida com o objetivo de reduzir a taxa de falhas em seus produtos eletrônicos no processo de manufatura. Seis Sigma foi apresentado como uma filosofia operando segundo os princípios da Gestão da Qualidade Total com uma intensa utilização de métodos estatísticos e ferramentas da qualidade. O objetivo do programa era desafiar o desempenho com zero defeito, melhorando a confiabilidade do produto final e a redução de perda ou sucata.

Ainda segundo Coronado (2002) nos anos 1980, a Motorola fez comparações entre os resultados internos de pedidos, pagamentos de fatura e ordens de pagamento, por exemplo, com os índices de perda de bagagem aérea, de contas de restaurante e de prescrição de medicamentos. Em adição, foram pesquisadas empresas reconhecidas como de alta qualidade e níveis elevados de satisfação do cliente ("best-in-class") e comparadas com empresas de desempenho médio. Os dados das empresas médias foram desenhados num gráfico e o seu nível de falha associado a um nível sigma. As empresas médias tinham taxas de falhas numa faixa de 3.000 a 10.000 por milhão de oportunidades, o que é equivalente a um nível sigma entre 3 e 4. Os resultados das melhores

empresas, as tais "best-in-class", foram próximos a 3,4 falhas por milhão, que é equivalente ao nível de Seis Sigma. A partir desta constatação, a Motorola estabeleceu como meta de qualidade a obtenção do Seis Sigma em 1993. Foi então que muitas outras empresas começaram a aplicar o Seis Sigma com o objetivo de reduzir custos, como a Allied Signal e Dow Chemical.

Segundo Eckes (2001), o Seis Sigma tem sido usado como sistemática na melhoria do desempenho dos diversos processos essenciais ao negócio. O foco da sistemática do Seis Sigma está, principalmente, na redução da variabilidade dos processos.

Depois de lançado o conceito, a metodologia ganhou importantes contribuições de empresas como *IBM*, *Xerox*, *Texas Instruments*, *AlliedSignal (Honeywell)* e a *GE* onde o processo de melhoria DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) foi padronizado como o principal método de aprimoramento, para atingir a qualidade Seis Sigma, através da solução dos problemas críticos.

A metodologia Seis Sigma, assim como suas ferramentas e vantagens competitivas serão apresentadas com detalhe no capítulo seguinte. Como uma breve introdução, o ciclo DMAIC, ou ciclo de melhoria contínua da metodologia Seis Sigma como é conhecido.

A Figura 2 apresenta o ciclo DMAIC de melhoria contínua da metodologia Seis Sigma e descreve o significado de cada uma das siglas do nome. Ainda assim, vale ressaltar que o nome original vem do inglês, por tal motivo o "I" em inglês é *Improve* e no português corresponde a melhoria.

O DMAIC foi escolhido para aplicação no estudo de caso por ser baseado na metodologia Seis Sigma, que estabelece objetivos claros tanto nos resultados como no tempo, no que diz respeito da satisfação do cliente, redução da variabilidade dos processos, e conseqüentemente dos defeitos, além de contar com ferramentas para prevenção e detecção de desperdícios.

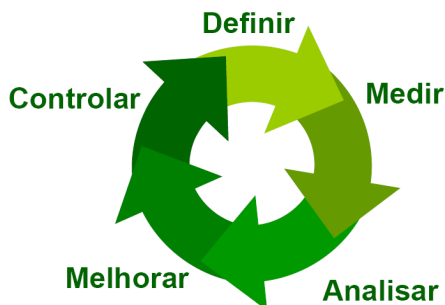


Figura 2 – Ciclo DMAIC

Fonte: RIVAS (2008)

No que diz respeito à metodologia Seis Sigma, Garrido (2005) introduz o conceito como sendo um nível otimizado de performance que se aproxima de zero defeito no processo da confecção de um produto ou serviço.

Segundo Eckes (2001), empresas como a GE conseguiram benefícios acima de US\$ 2 bilhões de dólares desde a aplicação do seis sigma em seus processos. Estes benefícios foram conseguidos a partir da redução de falhas nos processos de produção, vendas, dentre outros, o que possibilitou melhoria nos índices de qualidade, redução de custos e eliminação de falhas, expressas por meio da redução de reprocessamentos, atrasos em entregas entre outros.

2.3.1 Conceito Seis Sigma

O Seis Sigma é uma maneira de gerenciar o negócio, focada em resultado financeiro e na melhoria contínua dos processos. Ele conta com cinco etapas bem definidas e estruturadas de forma que, se seguidas com a disciplina necessária, pretende levar os líderes de processo e suas equipes a identificar as principais fontes de variação e desperdício e, a partir daí, estabelecer ações para reduzi-las e controlá-las, e garantir a sustentação dos ganhos obtidos.

Segundo Pande (2001) Seis Sigma pode ser definido como uma medida do desempenho de um processo ou um produto; também como

um objetivo de chegar próximo da perfeição do melhoramento do desempenho, e finalmente como um sistema de gerenciamento para alcançar uma liderança estável nos negócios e um desempenho classe mundial.

Para Breyfogle III (2003), a quantidade de desvios padrão, ou sigmas, que estão posicionados entre o Limite Inferior de Especificação (LIE) de um produto e a média das medidas ou entre a média e o Limite Superior de Especificação (LSE), define “quantos sigma” é o processo que gerou aquele produto. Este raciocínio pode ser expresso conforme a Figura 3.

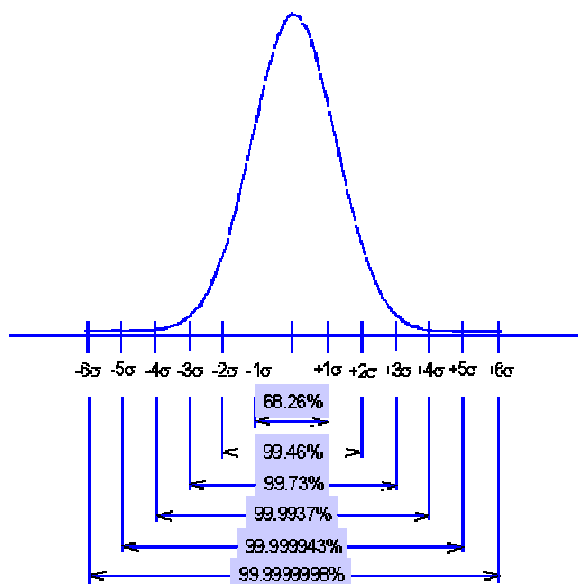


Figura 3 – Exemplo do Conceito Seis Sigma
Fonte: Breyfogle III (2003)

Segundo Rasis (2002), Seis Sigma é a inflexível e rigorosa busca da redução da variação em todos os processos críticos para alcançar melhorias contínuas e quânticas que impactam os índices de uma organização e aumentam a satisfação e lealdade dos clientes. A ferramenta de melhoria empregada na implantação dos projetos Seis








Sigma é o DMAIC: acróstico que representa: Definir-Medir-Analisar-Implementar-Controlar.

Para Raht (2001), A metodologia Seis Sigma tem a finalidade de melhorar os processos, reduzindo variabilidade. A variabilidade é tratada como se fosse uma falha intrínseca ao processo, e desta forma, através de projetos de melhoria contínua e sustentável, se objetiva reduzi-la a níveis baixíssimos, visto que não existe processo sem variação.

Seis Sigma também é considerada uma meta a ser atingida através de um processo contínuo de melhoria onde o objetivo é ter um índice de defeitos menor ou igual a 3,4 defeitos por milhão. No APÊNDICE I encontra-se a tabela completa de conversão.

São poucas as empresas que atingem o nível Seis Sigma, normalmente e geralmente consegue-se atingir o nível quatro sigma. E quando atingem, não o conseguem tê-lo em todos os processos da empresa, só em alguns. A Tabela 2 ilustra a ocorrência de falhas quando se trabalha com quatro e com seis sigma.

Tabela 2 – Exemplos de falhas com o desempenho de quatro e seis sigma

Quatro Sigma (99,38% conforme)		Seis Sigma (99,99966% conforme)
Sete horas de falta de energia elétrica por mês		Uma hora de falta de energia elétrica a cada 34 anos
5.000 operações cirúrgicas incorretas por semana		1,7 operação cirúrgica incorreta por semana
3.000 cartas extraviadas para cada 300.000 cartas postadas		Uma carta extraviada para cada 300.000 cartas postadas
Quinze minutos de fornecimento de água não potável por dia		Um minuto de fornecimento de água não potável a cada sete meses
Um canal de TV 1,68 horas fora do ar por semana		Um canal de TV 1,8 segundos fora do ar por semana
Uma aterrisagem de emergência no aeroporto de Guarulhos por dia		Uma aterrisagem de emergência em todos os aeroportos do Brasil a cada cinco anos

Fonte: WERKEMA (2006).

A aplicabilidade dos conceitos Seis Sigma tem se espalhado, principalmente porque a metodologia é muito difundida pelos ganhos que promove, sobretudo em relação aos ganhos financeiros em algumas das principais empresas do mundo. A Figura 4 ilustra ganhos de diversas empresas que aplicaram a metodologia (HSM MANAGEMENT, 2004).

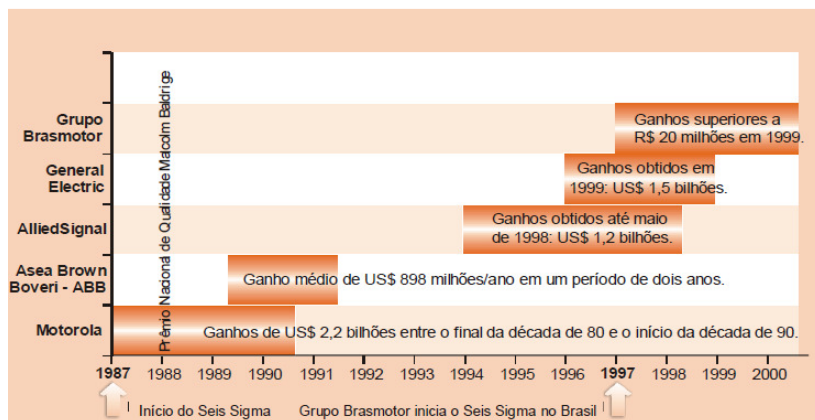


Figura 4 – Ganhos obtidos com o Seis Sigma em diferentes empresas

Fonte: WERKEMA (2006)

2.3.2 Ciclo DMAIC

O ciclo DMAIC, em inglês (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*), é um processo ou método comum que os membros das equipes de melhoria podem utilizar para facilitar o seu trabalho. É uma ferramenta flexível, para que as melhorias aconteçam e sejam sustentadas.

Segundo Rath & Strong (2001), a metodologia Seis Sigma utiliza como ferramenta de condução o D-M-A-I-C, que é o acrônimo que representa: Definir-Medir-Analisar-Implementar-Controlar. Também pode ser entendido como os substantivos destes verbos. Então o DMAIC é uma estruturada, disciplinada e rigorosa abordagem para alcançar a melhoria do processo composta pelos 5 passos ou fases descritos abaixo,

onde cada passo está logicamente ligado com o passo anterior assim como o posterior.

A utilização desta ferramenta depende de uma equipe, usualmente chamada de equipe de melhoria contínua e formada por colaboradores de diferentes departamentos, com conhecimentos diversos e diferentes níveis hierárquicos.

Vale ressaltar que o ciclo DMAIC irá funcionar se estiver patrocinada pela alta liderança da empresa e contar com uma equipe que tenha dedicação, persistência e que acredita nos conceitos da melhoria contínua.

Segundo Lynch (2003) o DMAIC é análogo a um funil. Uma ampla oportunidade de uma empresa ter seu escopo progressivamente estreitado, inicialmente utilizando as definições de projeto Seis Sigma e posteriormente as ferramentas Seis Sigma. O resultado é um problema que pode facilmente ser entendido e rapidamente endereçado com um foco de mira “laser”.

O ciclo é composto por cinco passos, a saber: definir, medir, analisar, melhorar e controlar. Cada um deles é tratado em seções seguintes descrevendo os objetivos e ferramentas utilizadas em cada etapa.

2.3.2.1 Definir

Segundo Chowdhury (2001) na fase de Definição, os dados preliminares do projeto devem ser estabelecidos: a missão, o escopo, as métricas, o time, o tempo e o impacto financeiro estimados. Enfim, definir o projeto, os marcos iniciais e finais, os membros com respectivas responsabilidades da equipe, as métricas que indicarão se o projeto teve sucesso ou não e qual a estimativa de retorno que a empresa terá com a execução deste projeto.

O primeiro passo do ciclo é definir o problema. Para desenvolver este passo é necessário responder algumas perguntas, tais como:

- Qual é o problema ou a oportunidade a ser estudada?
- Quem é afetado por ele – quem é o cliente?
- O que é importante para ele?
- Quais os indicadores deste processo?
- Quanto custa a variação?
- Qual é o defeito a ser reduzido?
- Que dados deverão ser coletados?
- Quais os riscos envolvidos?
- Como o desempenho do processo é medido?
- Quem são as pessoas da empresa que poderão contribuir no trabalho?

As principais ferramentas utilizadas nesta etapa são: descrição do projeto, que é uma folha com toda a descrição básica do projeto; a voz do cliente, que determina pontos críticos da operação com base no ponto de vista do cliente; mapa de fluxo de valor, que permite enxergar o relacionamento do fluxo de material com o fluxo de informação; diagrama SIPOC (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*), que determina todas as variáveis do sistema produtivo e a matriz de causa e efeito, que permite entender o relacionamento das entradas com as saídas definidas no diagrama SIPOC.

2.3.2.2 Medir

Esta é uma fase essencial do ciclo, visto que toda a ferramenta é baseada em dados estatísticos, com isso percebe a importância de contar com dados confiáveis para que análises sejam consistentes e verdadeiras. Por esta razão faz-se a avaliação do sistema de medição para se validar os dados a serem utilizados no estudo.

Além disso, é realizada a identificação das variáveis do processo, nota-se que esta atividade é alimentada pelos diagramas SIPOC e matriz de causa e efeito. Como afirma Miyoshi (2003), o

objetivo das medidas é captar e atuar sobre as causas. Medir tem dois objetivos principais:

- Coletar dados válidos para quantificar o problema ou oportunidade;
- Começar a dar os primeiros indícios das causas dos desperdícios.

Por ser tão importante na realização do projeto, determinar o que medir não é uma tarefa fácil, já que na hora de coletar os dados aparecem múltiplas opções, e por isso a equipe deve fazer um planejamento cuidadoso da medição.

Uma vez definidas as variáveis que serão medidas, faz-se necessário fazer um plano de medição, que entre outras definições, deve-se determinar a quantidade da amostra para que os dados colhidos tenham validade de análise.

Como resultado desta etapa, as empresas conseguem calcular as métricas do Seis Sigma, como nível sigma e defeitos por milhão de oportunidades. Com isso, é possível ter uma idéia de performance do sistema produtivo e abre as oportunidades de melhoria. Tais dados também irão alimentar a próxima etapa do ciclo, que é analisar os dados colhidos.

2.3.2.3 Análise

Uma vez definido o projeto e realizada a medição das variáveis necessárias para análise, inicia-se a etapa de análise dos dados, que pode ser vista como uma importante etapa do projeto. Nesta etapa, onde são levantadas as oportunidades e ações de melhoria para o sistema produtivo com foco em redução dos desperdícios.

Basicamente, pode-se definir que o objetivo neste estágio é encontrar a causa fundamental das falhas. Algumas vezes a causa fundamental é evidente, e o procedimento DMAIC passa rapidamente por todas suas etapas, mas em outros casos a causa fundamental encontra-se oculta, e o ciclo DMAIC consome mais tempo e esforço. Segundo Kume (1993) as causas assinaláveis são provocadas pelo não

cumprimento de certos padrões ou pela aplicação de padrões inadequados.

Tanto Perez-Wilson (2000) quanto Pande (2004) consideram que a etapa da análise é uma etapa fundamental no procedimento de redução de desperdícios, e mencionam a análise de causa lógica, que consiste na investigação de dados que circundam o problema, e que requer disciplina, mente aberta, pensamento lógico e criativo e é justamente por esse motivo que a estratégia é conhecida como estratégia que quebra paradigmas.

As principais ferramentas utilizadas são: técnicas de análise gráfica (teste de normalidade, histograma, pareto, scatter, tendência, entre outros); análise multivariada; testes de hipótese; regressão e correlação; e FMEA. O FMEA do inglês (*Failure Model and Effect Analysis*), é uma ferramenta que busca evitar, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no sistema produtivo.

Como resultados desta etapa, espera-se entendimento completo do projeto e suas variáveis, de modo que resulte em soluções com o objetivo de reduzir desperdícios e alimentem a próxima etapa com informações necessárias para execução com sucesso do plano de melhorias.

2.3.2.4 Melhorar (*Improve*)

Nesta etapa do ciclo DMAIC, reúne-se todas as informações levantadas nas três etapas iniciais e pode-se dizer que é o resultado de todo o planejamento realizado até então. Constata-se que a boa execução das etapas de definir, medir e analisar, resultam em uma boa etapa de melhorar, trata-se esta etapa como consequência das três primeiras. A má execução das três primeiras etapas também resulta em uma má execução da etapa melhorar.

Para a execução desta etapa, é necessário realizar o planejamento das ações de melhoria levantadas nas etapas anteriores,

para isso, sugere-se a utilização da ferramenta 5W2H que nada mais é do que responder as questões a seguir:

- O que será feito? Ou seja, qual a ação será executada;
- Quem fará? Ou seja, quem será o responsável pela ação;
- Quando será feito? Ou seja, em que prazo a ação será executada;
- Onde será feito? Ou seja, qual local será realizada a ação;
- Por que será feito? Ou seja, por qual motivo será realizada a ação;
- Como será feito? Ou seja, detalhes de como será executada a ação;
- Quanto custará? Ou seja, custo da execução da ação.

No final da execução do plano de ação deve ser colhida uma nova amostra de dados, ou seja, deve ser realizada uma nova medição das variáveis definidas pelo projeto e assim iniciar a quinta e última etapa, o controle do projeto.

2.3.2.5 Controlar

Por fim, a última etapa do ciclo DMAIC, tem como objetivo principal controlar as variáveis estabelecidas no projeto, a fim que as melhorias implementadas tenham sustentação. Para Pande (2001) as organizações são como uma fita elástica, que no início das mudanças e implementações pode esticar e adotar a forma desejada, mas quando o esforço deixa de ser aplicado, ela retorna à sua forma original.

Para Harry (1994), controlar é documentar e monitorar todas as decisões, medições, e indicadores de desempenho do processo. Controlar implica dar ao projeto a importância necessária, definir claramente as responsabilidades de cada um dentro sistema produtivo e garantir suporte para que o impacto das mudanças seja duradouro.

As principais ferramentas utilizadas são: os gráficos de controle, que são gráficos com limites estabelecidos de tolerância; o plano de controle, que sugere quais ações devem ser tomadas em caso

de amostras fora dos limites; dispositivos à prova de falha, que visa garantir as especificações estabelecidas; entre outros.

2.3.3 Ferramentas de Apoio

O ciclo DMAIC conta com algumas ferramentas básicas de apoio no sentido de complementar a metodologia Seis Sigma. Nesta seção serão apresentadas algumas ferramentas, tais como: diagrama de Ishikawa, 5 porquês, SIPOC e matriz de causa e efeito e FMEA.

2.3.3.1 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de Ishikawa é uma ferramenta utilizada para identificar quais as fontes causadoras de variação do processo. O objetivo principal da ferramenta é tentar definir possíveis causadores à um determinado efeito em relação à: mão de obra, medição, métodos, meio ambiente, máquinas e materiais. A Figura 5 ilustra um exemplo do diagrama de Ishikawa.

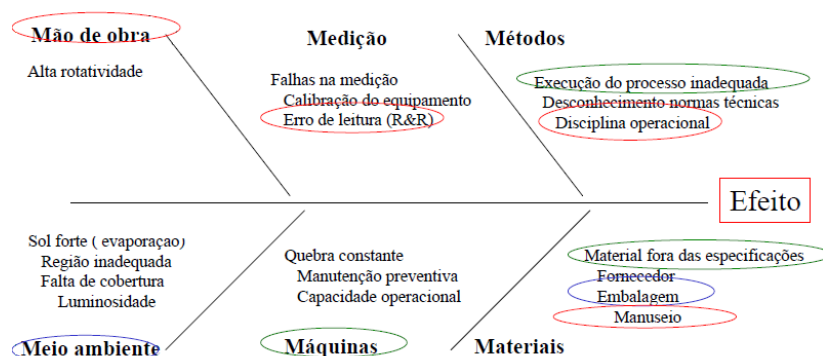


Figura 5 – Exemplo de Diagrama de Ishikawa
Fonte: Rivas (2008)

2.3.3.2 5 Porquês

A ferramenta dos 5 Porquês é simples, mas efetiva, e começa com o estabelecimento do problema e a pergunta: por quê o problema ocorreu. Liker (2004) inclui no seu livro *The Toyota Way* uma metodologia de solução de problemas em sete passos. Esses sete passos incluem os cinco por quês. O objetivo principal é diagnosticar a causa raiz do problema analisado. A Figura 6 ilustra um exemplo da ferramenta 5 Porquês.



Figura 6 – Exemplo da ferramenta 5 Porquê

Fonte: Rivas (2008)

2.3.3.3 SIPOC

SIPOC do inglês (*Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers*) é uma ferramenta que mostra a relação entre os fornecedores, as entradas, as saídas e os clientes de um processo. Esta ferramenta indica os pré requisitos dos fornecedores e os requisitos dos clientes. A Figura 7 ilustra a ferramenta SIPOC.

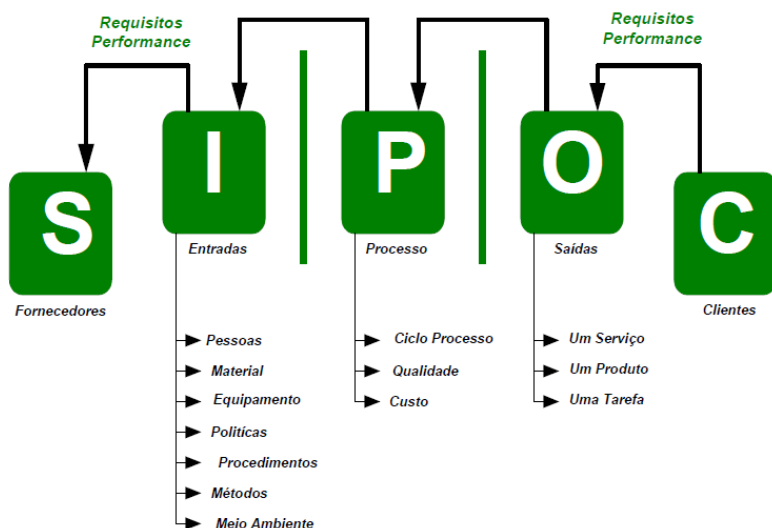


Figura 7 – SIPOC

Fonte: Rivas (2008)

2.3.3.4 Matriz de Causa e Efeito

A ferramenta matriz de causa e efeito tem como objetivo principal relacionar numericamente as entradas com as saídas de um processo, e priorizá-las de acordo com a força e a importância que é dada pelo cliente. Os dados de entradas e saídas são levantados no diagrama SIPOC. A Tabela 3 ilustra um exemplo da matriz de causa e efeito.

Tabela 3 – Um exemplo da matriz de causa e efeito.

Importância do Cliente		10	7	9	7	5				
		1	2	3	4	5	6	7	8	
Entradas do Processo		Sabor	Odor	Temperatura	Cor	Apresentação				Total
1	Filtro	9	1	0	4	0				125
2	Quan.de água	9	4	4	9	0				217
3	Pó para café	9	9	1	9	0				225
4	Calor	9	4	9	1	0				206
5	Tempo	4	4	9	1	0				156
6	Guardanapo	0	0	0	0	9				45
7	Colher	0	0	0	0	9				45
8	Xicara	0	0	0	0	9				45
9	Recipiente	0	4	4	0	9				109
Total		400	182	243	168	180	0	0	0	

Fonte: Rivas (2008)

2.3.3.5 FMEA

O FMEA do inglês (*Failure Model and Effect Analysis*), ou análise de modo e efeito da falha, é uma ferramenta de avaliação usada para identificar todos os possíveis tipos de falhas de projetos de produtos e processos e a influência do seu efeito nos clientes. A Tabela 4 ilustra um exemplo do FMEA.

A técnica é um método analítico normalizado para detectar e eliminar problemas em potencial, de forma sistemática e completa, e busca observar:

- Que tipo de falha poderá ocorrer na etapa?
- Quais as partes do processo serão afetadas?
- Qual a frequência da falha?
- Quais serão os efeitos da falha sobre o processo?
- Quais serão os efeitos e riscos da falha para o cliente?
- Qual a importância da falha?

- Como preveni-la e detectá-la?

Algumas definições são necessárias para melhor entendimento e utilização da ferramenta.

- Atividade do Processo: etapa do processo que está sendo analisada;
- Modo Potencial de Falha: eventos que levam a uma incapacidade do atendimento da etapa do processo (total ou parcial);
- Causas Potenciais: são os eventos que geram, provocam ou induzem o aparecimento do modo de falha;
- Efeito: o dano conseqüente do surgimento do modo potencial de Falha no cliente;
- Severidade: o quanto a falha pode significar para o cliente;
- Ocorrência: frequência com que ocorrem as causas potenciais;
- Detecção: quão efetivos são os controles;
- Controle: que dispositivos, inspeções ou revisões dispomos atualmente para evitar/detectar as causas ou os modos de falha antes que seu impacto seja percebido pelo cliente.

Tabela 4 - Um exemplo do FMEA.

Atividades do Processo / Part Number	Modo da Falha Potencial	Efeitos potenciais de cada falha	S E V	Causas Potenciais	O C O	Controles Atuais	D E T	R P N
Descreva as atividades do processo	Como esta atividade pode falhar? Liste todos os possíveis modos de falha.	Descreva todos os efeitos potenciais que afetam os requisitos críticos do cliente.		Descreva todas as causas dos efeitos de cada falha potencial		Liste os controle atuais, incluindo procedimentos operacionais (SOPs)		
Receber OS	Não há ninguém p/ receber	Aguardar alguém e atrasar a entrega	9	Falta de funcionários para cobrir horário de almoço	3	Não há	10	270
Distribuir OS p/ separadores	Demora p/ classificar e distribuir	Atraso do processo e correias	9	Ordens de serviços recebidas todas de uma vez	7	Não há	10	630
	Distribuição desigual entre todos	Acúmulo para separador e possível atraso	9		7		10	630
Separar material	Documentação ilegível	Atraso na entrega	9	Documento feito a mão	5	Não há	5	225
	Erro de separação	Erro de entrega	10	Correria pelo acúmulo	6	Conferência	2	120
		Atraso na entrega	9		6		2	108

Fonte: Rivas (2008)

3 MÉTODO DE REDUÇÃO DE RETRABALHO EM SISTEMAS PRODUTIVOS ATRAVÉS DA METODOLOGIA SEIS SIGMA

Este capítulo descreve detalhadamente o método utilizado nesta dissertação, que foi desenvolvido para reduzir os retrabalhos no sistema produtivo, através da metodologia seis sigma. A descrição do método visa auxiliar a liderança de todos os níveis e operacional a seguir uma metodologia que visa redução de desperdícios do sistema produtivo. Para isso, o método é composto de uma série de ferramentas, conceitos e princípios da metodologia Seis Sigma e indispensáveis no processo da estruturação da gestão para prover melhorias de um setor.

O método proposto nesta dissertação se desenvolve através da metodologia Seis Sigma, na sua estratégia de solução de problemas DMAIC, e seu ponto de partida encontra-se na medição de indicadores de desempenho.

3.1 ARQUITETURA DO MÉTODO

O método completo contempla dois módulos e aparece ilustrado na Figura 8. O primeiro módulo, indicador de desempenho, visa determinar setores críticos e posicionar os setores da empresa quanto ao nível sigma mundialmente conhecido e estudado. O segundo módulo, estratégia DMAIC, que aplica a metodologia Seis Sigma com cada um dos seus cinco passos: definir, medir, analisar, melhorar e controlar. Nas seções seguintes é apresentado o conteúdo de cada um dos módulos e as relações existentes entre os dois, com o objetivo de reduzir desperdícios nos sistemas produtivos.

MÉTODO DE REDUÇÃO DE RETRABALHO

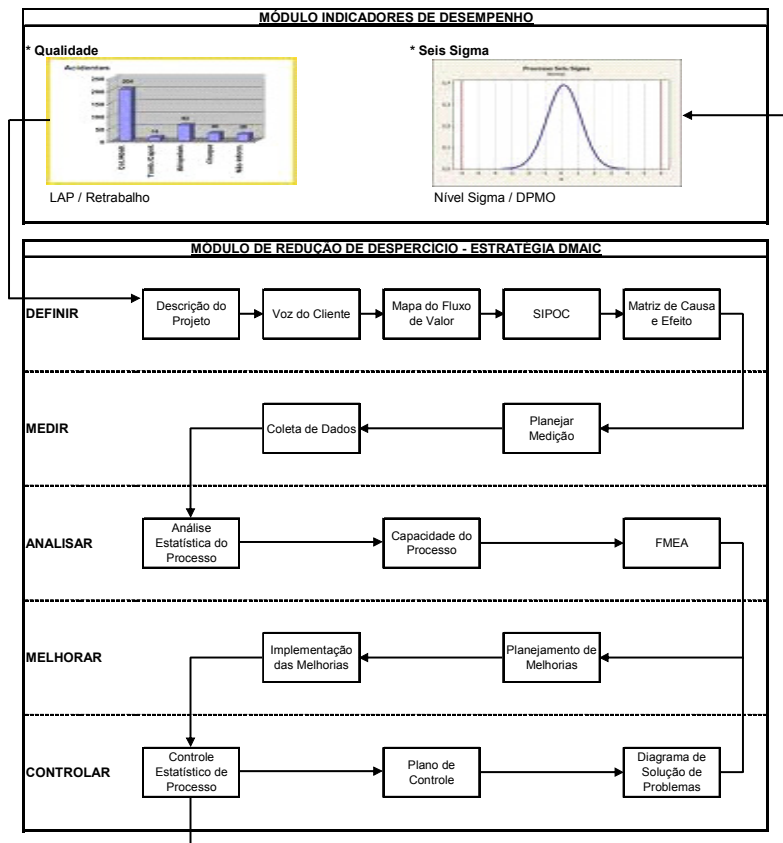


Figura 8 – Modelo de Redução de Retrabalho

Assim como os modelos tradicionais de melhoria contínua, o método proposto tem uma relação cíclica e de interdependência entre esses módulos que se pode descrever da seguinte maneira: o primeiro módulo, de indicadores de desempenho, compreende um indicador da qualidade que visa detectar defeitos no produto final resultante de cada setor do sistema produtivo, com isso é possível saber quais setores são mais críticos e assim determinar a ordem de prioridade de aplicação do método proposto. Além disso, este módulo contém o indicador do nível

sigma, que por sua vez também determina a quantidade de defeitos por milhão de oportunidades (DPMO).

O segundo módulo, a estratégia DMAIC, é um ciclo de melhoria que deve ser estabelecido e ao final do ciclo DMAIC proposto, ocorre a introdução do controle estatístico de processo, que por sua vez alimenta o módulo de indicadores de desempenho na seção seis sigma.

A sequência de aplicação do método encontra-se ilustrada na Figura 9 e ocorre da seguinte maneira: os desperdícios são detectados através do indicador da qualidade, que determina quantidade de defeitos no produto final originados por cada setor do sistema produtivo. Esta informação alimenta a seção que dará o ponto de partida no ciclo DMAIC. Desta forma, se a solução achada for eficiente, eficaz e viável procede-se ao Controle Estatístico de Processo, voltando assim ao primeiro módulo. Se a solução não for a mais adequada, então o ciclo DMAIC deve ser percorrido novamente.

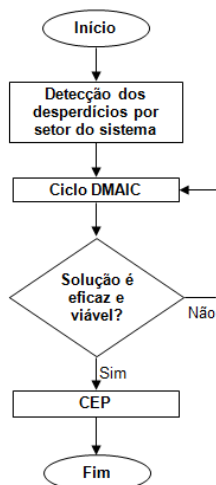


Figura 9 – Sequência de Aplicação do Método

Nas seções seguintes são detalhados os módulos, explica-se o conteúdo e objetivo de cada um, assim como as ferramentas sugeridas para atingir esses objetivos.

3.2 MÓDULO INDICADORES DE DESEMPENHO

Medir é a parte essencial da melhoria contínua, nota-se que sem medição não há controle e sem controle não há melhoria contínua e tão pouco gestão do desempenho. A medição propicia aos líderes de todos os níveis uma visão mais ampla e clara de quão saudável está o sistema produtivo.

Segundo Lucero (2002), medir o desempenho é uma atividade tão antiga quanto a humanidade e sob nenhum ponto de vista pode-se colocar como uma ferramenta de gestão moderna, mas a forma de medir sofreu uma mudança muito grande nas últimas três décadas, pois a forma tradicional de medir já não estava fechando o laço de informações necessário para gerenciar o desempenho das empresas.

Portanto, entende-se que antes de começar qualquer esforço de melhoramento dentro de um sistema produtivo, a empresa deve ter conhecimento de que nível está em relação às metas por ela mesma estabelecidas em momento oportuno e também em relação à outras empresas. A partir destes fatos, resultou na motivação para inserir um módulo de indicadores de desempenho no método proposto.

Nesse contexto, este primeiro módulo representa uma fonte de oportunidades de melhoria, já que através do mesmo é possível identificar os diferentes níveis de desperdício em diferentes setores do sistema produtivo. A Figura 10 mostra uma porção do método que corresponde à indicadores de desempenho.

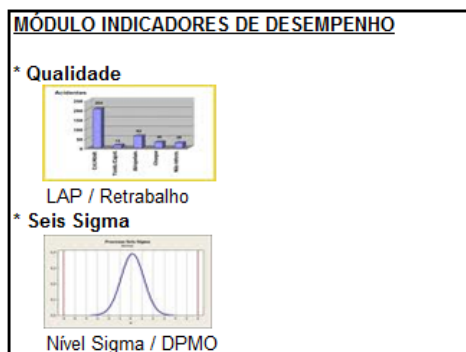


Figura 10 – Módulo Indicadores de Desempenho

O módulo contempla uma métrica básica da qualidade, LAP – Laboratório de Avaliação do Produto, tal indicador é resultado de avaliação do produto final de acordo com a gravidade dos itens não conformes encontrados, ou seja, reflete o nível de retrabalho por setor do sistema produtivo no produto final.

Complementando o módulo, calcula-se as métricas Seis Sigma, que além do nível sigma de cada setor do sistema produtivo é possível calcular defeitos por milhão de oportunidade (DPMO).

3.2.1 Métrica da Qualidade

A métrica da qualidade a ser utilizada no modelo proposto é o retrabalho, que aqui será denominada LAP por ser a nomenclatura proposta no modelo. A ABNT define retrabalho como:

Retrabalho é uma ação sobre um produto não-conforme, a fim de torná-lo conforme aos requisitos (ABNT 2000).

O modelo utilizará o diagrama de Pareto que além de facilitar a visualização dos dados, também faz parte dos procedimentos dos quadros de gestão à vista. Na Figura 11 é apresentado um exemplo de gráfico de Pareto. No estudo de caso haverá o gráfico detalhado conforme a necessidade do modelo proposto.

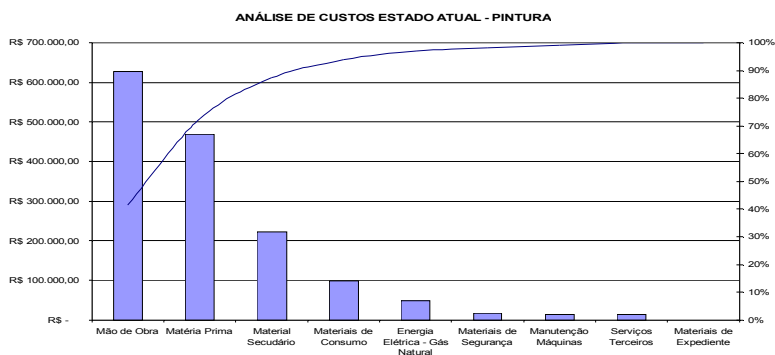


Figura 11 – Exemplo de gráfico de Pareto

3.2.2 Métricas Seis Sigma

As métricas Seis Sigma que serão utilizadas no método proposto serão o nível sigma e defeitos por milhão de oportunidades. Esta seção começa com dois conceitos fundamentais para entender como as métricas Seis Sigma são levantadas, segundo Pande (2004):

Unidade: um item que está sendo processado, ou um produto final. Exemplo: um automóvel, um refletor, um parafuso, etc.

Defeito: uma falha em atender uma exigência de cliente ou padrão de desempenho. Exemplo: um arranhão na lateral de um automóvel, um vazamento na válvula da unidade de água, etc.

Unidade Defeituosa: qualquer unidade que tenha um defeito. Assim, um automóvel com qualquer defeito é tecnicamente tão defeituoso quanto um automóvel com cinco defeitos.

Oportunidades para defeitos: são as diversas chances para que surja um defeito, e varia de acordo com a complexidade da unidade processada. Isto significa que varia de acordo com o número de componentes, quantidade e complexidade de operações, número de pessoas envolvidas, etc.

Com base nessas definições são desdobradas as métricas do Seis Sigma cujo fundamento é a contagem de defeitos e oportunidades para defeitos. Cada uma das métricas que são empregadas no software para o cálculo e apresentação gráfica das métricas são definidas através de equações a seguir:

Defeitos por Oportunidade (DPO): exprime a proporção de defeitos em relação ao número total de oportunidades em um grupo.

$$DPO = \frac{\text{Número de Defeitos}}{\text{Número de Unidades} \times \text{Número de Oportunidades}} \quad (\text{Equação 3-1})$$

Defeitos por milhão de oportunidades (DPMO): A maioria das medidas de oportunidades para defeitos é traduzida para o formato DPMO, que indica quantos defeitos surgiriam se houvesse um milhão de oportunidades. Especialmente em ambientes de fabricação, o DPMO é frequentemente denominado “ppm” ou partes por milhão.

$$DPMO = DPO \times 10^6 \quad (\text{Equação 3-2})$$

Nível Sigma: é obtida mediante transformação do DPMO em valor sigma, que é um valor tabelado como aparece no Apêndice I.

Na Figura 12 é ilustrado um exemplo no qual podem ser analisados o cálculo do nível sigma, assim como também os defeitos por milhão de oportunidades, gerados via software Minitab.

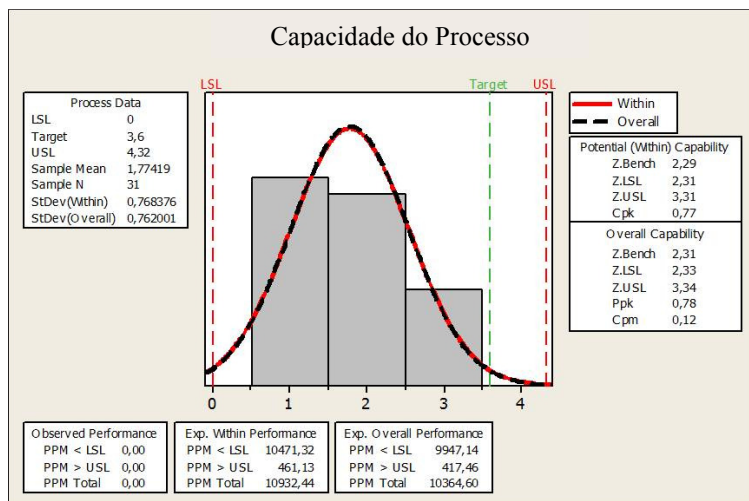


Figura 12 – Exemplo de cálculo de nível sigma e DPMO

3.3 MÓDULO DE REDUÇÃO DE RETRABALHO

O segundo e último, é o módulo de redução de retrabalho baseado no ciclo DMAIC da metodologia Seis Sigma, descrito no capítulo anterior. A metodologia Seis Sigma proporcionou uma sequência lógica, com uma metodologia largamente estabelecida e inúmeras vezes testadas para reduzir os desperdícios do sistema produtivo.

Este segundo módulo contém os cinco passos do ciclo propriamente dito. No sentido de ajustar-se à característica de dados por atributo referente à variável desperdício, o ciclo DMAIC foi adaptado e com isso utiliza-se uma parte das ferramentas existentes. O desperdício é tipo de dado qualitativo, ou seja, é um dado por atributo, ou tem determinado desperdício ou não tem, não existe 0,5 desperdício, por exemplo. A seção correspondente ao módulo de eliminação de anomalias baseado na estratégia Seis Sigma aparece ilustrada na Figura 13.

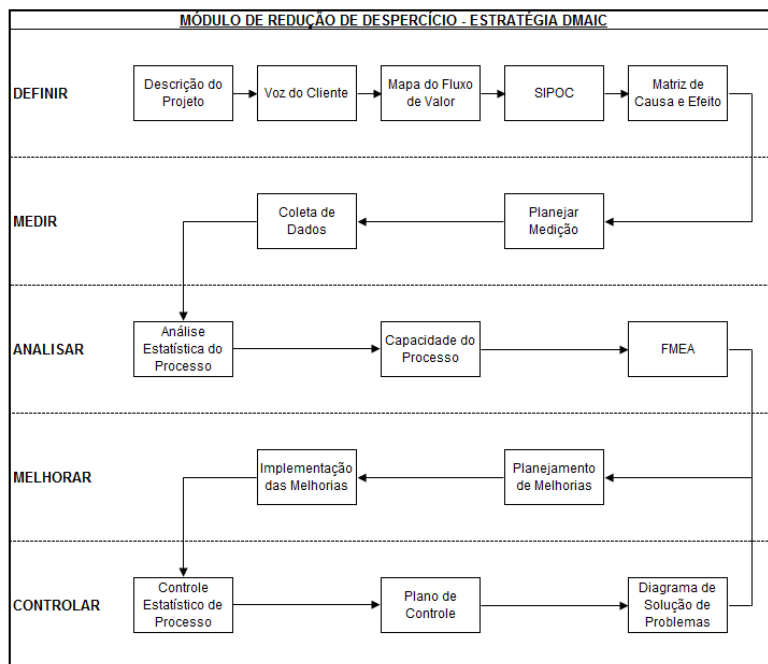


Figura 13 – Estratégia DMAIC

Cada uma das etapas foi explicada no capítulo anterior, incluindo os objetivos a alcançar em cada uma. Por esta razão, este capítulo pretende explicar o conteúdo de cada etapa diretamente sobre as ferramentas a serem aplicadas e a documentação que auxilia no desenvolvimento de cada um dos passos.

3.3.1 Definir

O objetivo principal desta etapa é definir a proposta e o planejamento do projeto a ser executado. A partir desta etapa busca-se o completo entendimento do problema a ser resolvido, em termos que possam ser compreendidos por todos os membros da equipe de melhoria.

O modelo recomenda cinco ferramentas que auxiliam na identificação das oportunidades de melhoria; elas são: a Descrição do Projeto, a Voz do Cliente, o Mapa do Fluxo de Valor, o SIPOC e a Matriz de Causa e Efeito. A seguir é descrito cada um delas, e a forma como auxiliam na definição do problema ou oportunidade do projeto Seis Sigma.

3.3.1.1 Descrição do Projeto

A descrição do projeto é um documento que contempla um resumo das informações que viabilizarão a execução do projeto. Um exemplo da folha de descrição de projeto é ilustrado na Figura 14. Na folha de descrição de projeto serão inseridas as seguintes informações:

- Nome, data de início e responsável do projeto;
- Descrição do Problema;
- Objetivo do Projeto;
- Métrica Operacional;
- Métrica Financeira;
- Linha de Impacto;
- Estimativa de Ganho;
- Benefícios não Mensuráveis;
- Time de Projeto;
- Comentário do Gerente de Produtividade; e
- Dono do Processo.

Projeto :		Cronograma		0% concluído																																																								
Data / Início																																																												
Green Belt																																																												
Black Belt																																																												
Descrição do Problema				Objetivos do Projeto																																																								
Métrica Operacional				Métrica Financeira																																																								
Linha de Impacto				Estimativa de Ganho																																																								
<table border="1"><thead><tr><th>Unidade</th><th colspan="4"></th></tr><tr><th>Segmento</th><th colspan="4"></th></tr></thead><tbody><tr><td>Aumento de vendas</td><td></td><td>SIM</td><td></td><td>NAO</td></tr><tr><td>Lucro operacional</td><td></td><td>SIM</td><td></td><td>NAO</td></tr><tr><td>Despesas Financeiras</td><td></td><td>SIM</td><td></td><td>NAO</td></tr><tr><td>Capex</td><td></td><td>SIM</td><td></td><td>NAO</td></tr></tbody></table>				Unidade					Segmento					Aumento de vendas		SIM		NAO	Lucro operacional		SIM		NAO	Despesas Financeiras		SIM		NAO	Capex		SIM		NAO	<table border="1"><thead><tr><th colspan="3">Planejado</th><th>Total</th></tr></thead><tbody><tr><td>Jan</td><td></td><td>Jul</td><td rowspan="6"></td></tr><tr><td>Fev</td><td></td><td>Ago</td></tr><tr><td>Mar</td><td></td><td>Set</td></tr><tr><td>Abr</td><td></td><td>Out</td></tr><tr><td>Mai</td><td></td><td>Nov</td></tr><tr><td>Jun</td><td></td><td>Dez</td></tr></tbody></table>				Planejado			Total	Jan		Jul		Fev		Ago	Mar		Set	Abr		Out	Mai		Nov	Jun		Dez
Unidade																																																												
Segmento																																																												
Aumento de vendas		SIM		NAO																																																								
Lucro operacional		SIM		NAO																																																								
Despesas Financeiras		SIM		NAO																																																								
Capex		SIM		NAO																																																								
Planejado			Total																																																									
Jan		Jul																																																										
Fev		Ago																																																										
Mar		Set																																																										
Abr		Out																																																										
Mai		Nov																																																										
Jun		Dez																																																										
Benefícios Não Mensuráveis				Time do Projeto																																																								
Comentário G.Produtividade				Dono do Processo																																																								

Figura 14 – Folha de Descrição do Projeto

3.3.1.2 Voz do Cliente

A voz do cliente utiliza toda a informação que é coletada pelo departamento de marketing, para conhecer as necessidades dos clientes e como a empresa pode satisfazer cada uma delas. Com esta ferramenta é possível conhecer, do ponto de vista do cliente, quais variáveis afetam Tempo, Qualidade e Custo. Um exemplo da Voz do Cliente é ilustrado na Figura 15.

VOC		VOICE OF CUSTOMER		Cronograma	
				0% concluido	
Tempo		Qualidade		Custo	

Figura 15 – Voz do Cliente

3.3.1.3 Mapa do Fluxo de Valor

Um fluxo de valor é toda ação (agregando valor ou não) necessária para trazer um produto por todos os fluxos essenciais a cada produto: o fluxo de produção desde a matéria-prima até os braços do consumidor. Considerar a perspectiva do fluxo de valor significa levar em conta o quadro mais amplo, não só os processos individuais; melhorar o todo, não só otimizar as partes.

O mapeamento do fluxo de valor é uma ferramenta que utiliza papel e lápis e ajuda a enxergar e entender o fluxo de material e de informação na medida em que o produto segue o fluxo de valor. Um exemplo do Mapa de Fluxo de Valor é ilustrado na Figura 16.

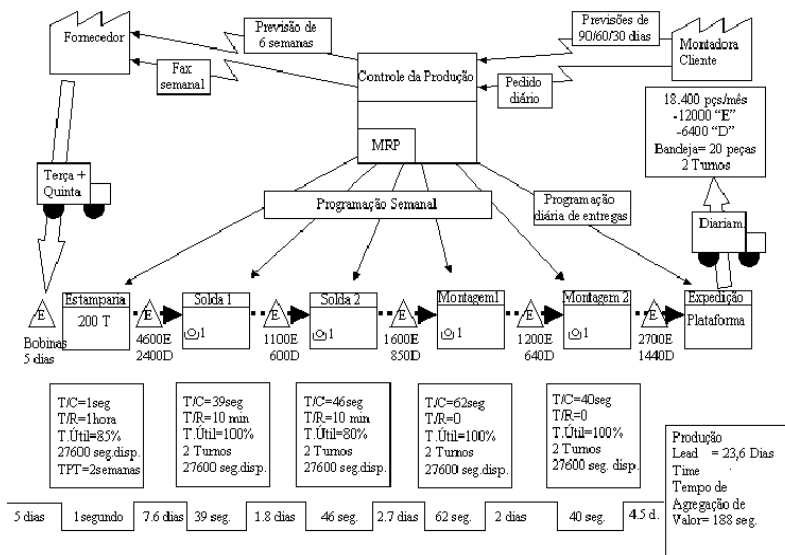


Figura 16 – Mapa do Fluxo de Valor

Fonte: ROTHER e SHOOK, 2003

3.3.1.4 SIPOC

Como foi definido anteriormente o diagrama SIPOC do inglês (*supplier, input, process, output e customer*); é essencial para desenvolver uma visão do processo envolvido no projeto Seis Sigma. O diagrama SIPOC é outra ferramenta chave na etapa de definição e aparece na Figura 17.

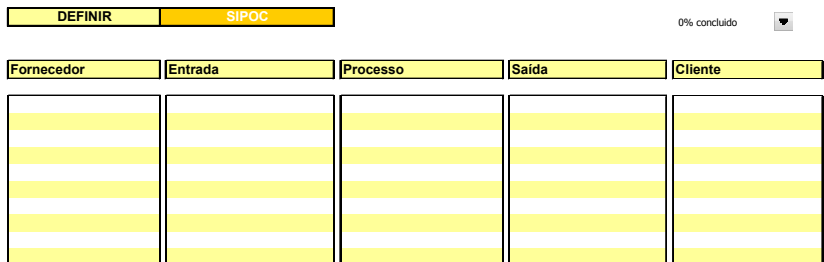


Figura 17 – Diagrama SIPOC

3.3.1.5 Matriz de Causa e Efeito

A matriz de causa e efeito recebe informações do diagrama SIPOC e tem como objetivo relacionar como as entradas definidas afetam as saídas, um exemplo é ilustrado na Figura 18. Esta ferramenta é executada pelos membros da equipe em forma de *brainstorming* e são atribuídos valores conforme estabelecidos a seguir:

- 0 – Entrada não afeta saída
- 1 – Entrada afeta pouco a saída
- 4 – Entrada afeta a saída
- 9 – Entrada afeta muito a saída

MATRIZ CAUSA E EFEITO

DEFINIR

CRONOGRAMA

0% concluído

Classificação	Importancia para o Cliente						TOTAL
<div>SAÍDAS</div> <div>ENTRADAS</div>							
							0
							0
							0
							0
							0
							0
							0
							0
							0
							0

Figura 18 – Matriz de Causa e Efeito

3.3.2 Medir

Após realizada a etapa de definição, a equipe já pode iniciar o planejamento da medição, isto é, definir o que, como e aonde medir. Esta etapa está fortemente ligada com o módulo de indicador de desempenho, que contém as principais medições da qualidade e as métricas Seis Sigma. Além de servir como referência, servem também para estabelecimento de metas.

O planejamento do processo de medição visa criar uma folha de coleta de dado para que sejam coletados os dados específicos necessários para verificar o estado atual, definir as metas e por último controlar e checar os resultados do projeto. Neste sentido é essencial o diagrama SIPOC, pois este permite estabelecer o tipo de indicador de medição, e é possível ser utilizado em cada elemento do sistema produtivo.

O diagrama SIPOC é uma fonte de dados organizada, fácil de identificar e que abrange o sistema produtivo geral. Além disso, normalmente a saída do diagrama SIPOC é a variável que se deseja melhorar, no caso do modelo será um desperdício. Assim como as entradas são as variáveis que podem afetar a saída, ou seja, deve coletar dados que possam demonstrar quantitativamente como as entradas afetam as saídas.

Finalmente é definido e executado o plano de amostragem para o qual existem normas preestabelecidas e normas próprias das empresas de acordo com o tipo de inspeção realizada por eles.

3.3.3 Analisar

Uma vez que executada a etapa de medição e de posse dos dados coletados, é possível iniciar a etapa de análise. Exatamente nesta etapa na qual as causas dos desperdícios são encontradas e estabelecidas com precisão.

No modelo proposto nesta dissertação são levados em conta três aspectos relevantes no procedimento de análise: uma análise estatística do processo, capacidade inicial do processo e finalmente o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*).

3.3.3.1 Análise Estatística do Processo

A análise estatística do processo utiliza os dados coletados para discernir padrões, tendências ou correlações existentes entre os fatores que influenciam o acontecimento dos desperdícios.

As ferramentas estatísticas tradicionais são um bom ponto de partida para a análise estatística do processo, e especificamente este modelo utiliza teste de normalidade, histograma, diagramas de Pareto e análise de tendência que são auxiliados via o software Minitab a partir da folha de coleta de dados.

Estatisticamente, o modelo proposto é válido apenas para distribuições normais, ou seja, aquelas que têm uma distribuição uniforme das amostras e para isso o valor de 'P' deve ser maior que 0,05.

3.3.3.2 Capacidade do Processo

O foco das medições do modelo encontra-se nas métricas Seis Sigma que foram tratadas na seção de indicadores de desempenho. Esta etapa tem como objetivo definir o nível sigma do processo, assim como o indicador de defeitos por milhão de oportunidades (DPMO).

Assim como na análise estatística do processo, esta etapa também é auxiliada via software a partir da folha de dados.

3.3.3.3 FMEA

A metodologia de Análise do Tipo e Efeito de Falha, conhecida como FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), é uma ferramenta que busca, em princípio, evitar, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no sistema produtivo.

A execução desta ferramenta conta com apoio da equipe de melhoria em forma de *brainstorming*, com objetivo de definir os modos de falhas, seus possíveis efeitos e causas, se existe ou não controle, assim como severidade, frequência de ocorrência e facilidade de detecção da falha. Com isso determina-se as ações necessárias para atender os objetivos do projeto.

Um modelo desta ferramenta é ilustrado na Figura 19.

ANALISAR		FMEA		0% concluído									
DATA													
PROCESSO													
ATIVIDADE DO PROCESSO	MODOS DE FALHA	EFEITO (resultado)	CAUSAS	CONTROLE ATUAL	Severidade	Frequência	Facilidade	RPN	ESTRATÉGIAS	AÇÕES RECOMENDADAS	RESPONSÁVEL	STATUS	

Figura 19 – Modelo do FMEA

3.3.4 Melhorar

Na fase de melhoria basicamente ocorrem dois eventos, a elaboração do planejamento das melhorias e a implementação das mesmas.

Para realizar o planejamento das melhorias é fundamental que o FMEA tenha sido bem executado, pois é a partir dele que surgem as ações recomendadas a fim de atender os objetivos do projeto. No planejamento das melhorias basicamente tem-se as seguintes informações:

- Qual será a ação;
- Detalhe de como será executada a ação;
- Responsável pela ação; e
- Prazo para ação ser executada.

Por fim, com o planejamento de melhorias pronto, acontece a implementação das soluções, que é o momento esperado por todos. Com a implementação termina-se o projeto Seis Sigma, e a última fase

do ciclo DMAIC, além de registrar o impacto das mudanças feitas, atua como conexão entre a última e a primeira fase.

3.3.5 Controlar

A última etapa do ciclo DMAIC é o controle, que é a consolidação dos ganhos obtidos até a fase de melhoria, e é uma etapa que deve ser rigorosa a fim de não permitir que os desperdícios reincidam.

No modelo proposto utiliza-se de três ferramentas: controle estatístico de processo, plano de controle, e diagrama de solução de problemas, que são mostradas a seguir.

3.3.5.1 Controle Estatístico de Processo

Uma importante ferramenta desta última etapa do ciclo DMAIC é o controle estatístico de processo, que além de ajudar na tarefa de análise de dados e controle do processo, resultam ser um documento de gestão à vista que permite que cada operação possa se auto-avaliar em relação ao seu desempenho.

Estes gráficos de controle introduzidos no sistema produtivo não só auxiliam no controle, mas também demarcam a tendência do processo, o que permite a adequada tomada de decisões e na identificação de oportunidades de melhoria.

Na Figura 20 é mostrado um exemplo de gráfico de controle estatístico de processo, com o objetivo de ilustrar as componentes da carta de controle. Elas estão compostas por uma linha média que representa a média da amostra dos dados, o limite inferior de controle, o limite superior de controle. O gráfico de controle também é realizado via software Minitab.

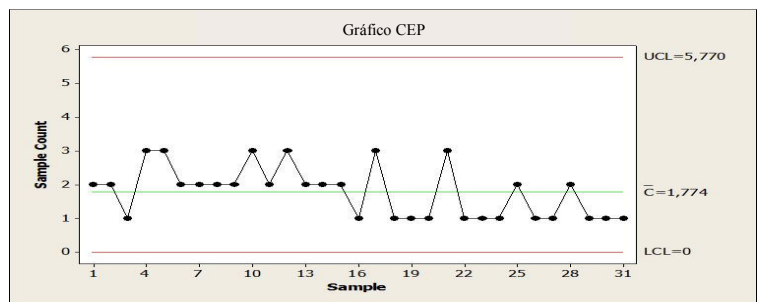


Figura 20 – Exemplo de Gráfico de Controle Estatístico de Processo

3.3.5.2 Plano de Controle

O plano de controle é um complemento da ferramenta de controle estatístico de processo, visto que este é utilizado quando uma amostra estiver fora do intervalo definido entre o limite inferior e o limite superior. Um exemplo é ilustrado na Figura 21.

No caso do modelo proposto, o limite inferior sempre será igual a zero, visto que o ideal dentro de um sistema produtivo seria não haver desperdícios, portanto quando uma amostra estiver acima no limite superior o plano de controle deverá ser acionado.

PLANO DE CONTROLE					
Característica a acompanhar - KPI (métrica operacional)	Método de Medição	Quem mede	Onde será registrado	Ação corretiva	Auditoria

Figura 21 – Plano de Controle

3.3.5.3 Diagrama de Solução de Problemas

O diagrama de solução de problemas deve ser utilizado apenas em casos em que a amostra esteja acima do limite superior determinado,

ou seja, se determinada medição resultou em mais desperdício em relação ao máximo estabelecido no projeto. Caso isso ocorra, imediatamente deve ser iniciado o diagrama de solução de problemas.

No modelo proposto, o diagrama de solução de problemas tem três passos: análise de causa e efeito, pesquisa da causa fundamental e plano de ação, tal diagrama é ilustrado na Figura 22. A sequência de utilização é simples, inicia-se pela análise de causa e efeito em relação aos desperdícios apresentados em relação ao meio ambiente, mão de obra, máquina, medida material e método. A seguir, lista-se as causas prováveis e utiliza-se da ferramenta dos 5 porquês com objetivo de encontrar a causa fundamental. Por último listam-se as ações para mitigar as causas fundamentais dos desperdícios.

Diagnóstico e Solução de Problemas

Setor:

Análise Causa e Efeito

Meio Ambiente

Mão de Obra

Máquina

Medida

Material

Método

Pesquisa da Causa Fundamental						
Causa Provável	1º Porque	2º Porque	3º Porque	4º Porque	5º Porque	Causa Fundamental

Plano de Ação

O que?	Quem?	Quando?	Como?	Revisor/ Data

Figura 22 – Diagrama de Solução de Problemas

4 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO ATRAVÉS DE UM ESTUDO DE CASO

Este capítulo descreve a aplicação do método proposto no capítulo anterior através de um estudo de caso em uma empresa de manufatura. O objetivo do estudo de caso é avaliar o método proposto, que tem como alvo a redução de falhas do sistema produtivo.

O método foi aplicado em uma indústria de manufatura, com baixo nível de automatização e com alta verticalização. Os módulos foram adaptados às necessidades reais da empresa.

4.1 A EMPRESA

A empresa do presente estudo de caso prefere que não seja divulgada a sua razão social, mas autoriza que sejam reveladas algumas características para o melhor entendimento deste estudo de caso.

A empresa é uma indústria manufatureira, do setor de carrocerias de ônibus e é bastante reconhecida no mercado nacional e internacional. Encontra-se localizada na região sul do Brasil e conta com mais de 4.000 colaboradores.

O produto principal é carrocerias de ônibus, mas a empresa é verticalizada e produz basicamente todos os conjuntos que são montados na carroceria e boa parte das peças. Além disso, a empresa tem alto nível flexibilidade, visto que trabalha nos conceitos *make-to-order*, ou seja, produz contra um pedido firme de um cliente.

A empresa tem uma iniciativa voltada para melhoria contínua, prova disso são as certificações ISO 9000, além de contar com um sistema integrado de qualidade, assim como setor específico de melhoria contínua.

O modelo proposto nesta dissertação foi aplicado na divisão de Pintura da empresa em questão. Os processos sob responsabilidade desta

divisão são: lavação, preparação, aplicação de tinta, secagem, riscamento, isolamento e laboratório.

Basicamente os processos podem ser descritos da seguinte maneira:

- Lavação: desengraxar de toda carroceria, utilizando toalha de algodão e solvente;
- Preparação: identificar possíveis defeitos existentes na carroceria após o desengraxe lixando a região afetada em movimentos circulares; corrigir os ressaltos; com ar comprimido e tecido, limpar a carroceria de modo a retirar a poeira gerada no lixamento;
- Aplicação de tinta: aplicar fundo de tinta nos locais onde foram aplicadas as massas; aplicar a 1ª cor e faixas na carroceria conforme indicado no projeto de pintura; a aplicação deve seguir os critérios da Tabela 5:

Tabela 5 – Especificações por Tipo de Pintura

Processo	Espessura de camada acumulada (micron)	Brilho (% à 60 °)
Fundo	Mínimo 10	---
Sistema Liso	Mínimo 60	min. 80
Sistema Metálico	Mínimo 70	min. 80
Sistema Perolizado	Mínimo 125	min. 80

- Secagem: manter a carroceria por 40 minutos à temperatura de 60°C dentro de uma estufa;
- Riscamento: marcar faixas e letras de toda carroceria conforme o projeto de pintura;
- Isolamento: isolar toda carroceria utilizando fita crepe e/ou papel, conforme necessidade;
- Laboratório: catalisar a tinta utilizando régua graduada e/ou régua do fornecedor de tinta para medir as quantidades; misturar a tinta no misturador automático até que fique bem homogênea; identificar e registrar viscosidade das tintas preparadas.

Conforme descrito na introdução desta dissertação, a divisão de Pintura tem uma característica singular, visto que cada cliente solicita um projeto de pintura diferente, ou seja, a divisão de Pintura deve ser um sistema produtivo flexível para atender às exigências do mercado.

A baixa padronização dos projetos de pintura conseqüentemente dificulta a introdução de automatização do processo de pintura. Desta forma, todo processo realizado no departamento de pintura é 100% manual, o que traz uma grande variabilidade no sistema produtivo da pintura, como por exemplo, nos níveis de espessura da camada de pintura estabelecidos no projeto conforme a Tabela 6.

Além disso, existem três tipos de processo de pintura: pintura lisa, pintura metálica e pintura perolizada, nos quais cada tipo de processo tem um procedimento diferente para aplicação.

Portanto, a divisão de Pintura tem um conjunto de características próprias e o modelo proposto visa atender estas características e resolver os problemas que tais características resultam.

4.2 APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos através da aplicação do método proposto nesta dissertação. Conforme especificado anteriormente, o método foi adaptado às necessidades reais da empresa, porém praticamente todas as ferramentas foram aplicadas.

As cinco etapas do ciclo DMAIC foram abrangidas na aplicação, e um relatório completo de sugestões foi entregue à empresa. É importante ressaltar que todo o projeto foi realizado por uma equipe multifuncional que contou com participantes da Engenharia de Processo, Qualidade, Pintura, Laboratório de Pintura, Fornecedor de Tinta e Melhoria Contínua, esta equipe reuniu-se diariamente para acompanhamento e definições de todas as etapas do projeto.

Nas duas seções seguintes aparecem dados e fatos de cada um dos módulos, explicando o estado atual da empresa e os resultados obtidos após quatro meses de aplicação do método.

4.2.1 Módulo de Indicadores de Desempenho

Em relação aos indicadores de desempenho do sistema produtivo, a empresa possui indicadores próprios da qualidade dos produtos, tais como, relacionados ao retrabalho, e estão estratificados por setor do sistema produtivo, o que por sua vez permite fazer o benchmarking interno. Esses indicadores são atualizados com frequência diária, e um exemplo do indicador aparece na Figura 23.

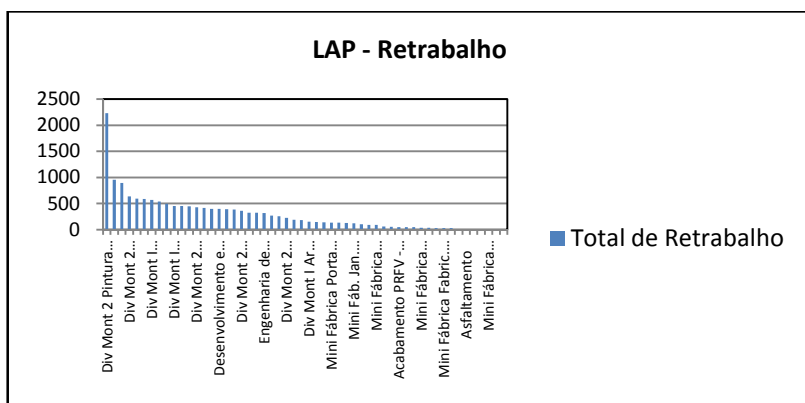


Figura 23 – Indicador da Qualidade

Este indicador da Figura 23 é denominado LAP, ou Laboratório de Avaliação do Produto, que tem como objetivo estabelecer a pontuação de acordo com a gravidade dos itens de montagem não conforme encontrados nas carrocerias de ônibus. O LAP é realizado da seguinte maneira: diariamente uma carroceria “liberada” é totalmente avaliada, de forma a prevenir que os itens não conformes, fossem encontrados pelos clientes. Isso leva a determinar que quanto menor o indicador LAP, maior será a qualidade do produto percebida pelo cliente.

Com o diagrama de Pareto do indicador da qualidade nota-se que a operação com maior nível de retrabalho é a divisão de Pintura. Exatamente por esta razão este setor foi o escolhido para aplicação do ciclo DMAIC na empresa em questão.

Especificamente na divisão de Pintura este indicador é mensurado da seguinte maneira: a avaliação realizada através de inspeção visual compõe da parte interna e externa da carroceria baseada no projeto de pintura e são considerados os seguintes critérios: manchado, pulverizado, marca de lixa e eventuais problemas que envolvem pintura. Estes itens são pontuados conforme segue:

- 1 (um) ponto para pequenos pulverizados, manchas que podem ser melhoradas para a próxima carroceria;
- 5 (cinco) pontos para pequenas manchas e riscos que possam ser retirados sem reparo na pintura;
- 10 (dez) pontos para grandes pulverizados que possam ser visualizados, tais como: riscos e manchas que tenham que ser pintados;
- 30 (trinta) pontos para itens de projeto não atendidos (medidas estabelecidas pela norma do cliente ou faltando adesivo).

Este estudo de caso foi a primeira aplicação do Seis Sigma na empresa, portanto ainda não existia o cálculo do nível sigma, nem o indicador de defeitos por milhão de oportunidades (DPMO) oficialmente por parte da empresa. Como ambos indicadores são propostos no método e para o melhor entendimento do estudo de caso, estes indicadores estão ilustrados na Figura 24, eles são adquiridos na seção de análise estatística do processo na fase de análise do ciclo DMAIC. O nível sigma e defeitos por milhão de oportunidades são resultados de cálculos estatísticos realizados via software Minitab.

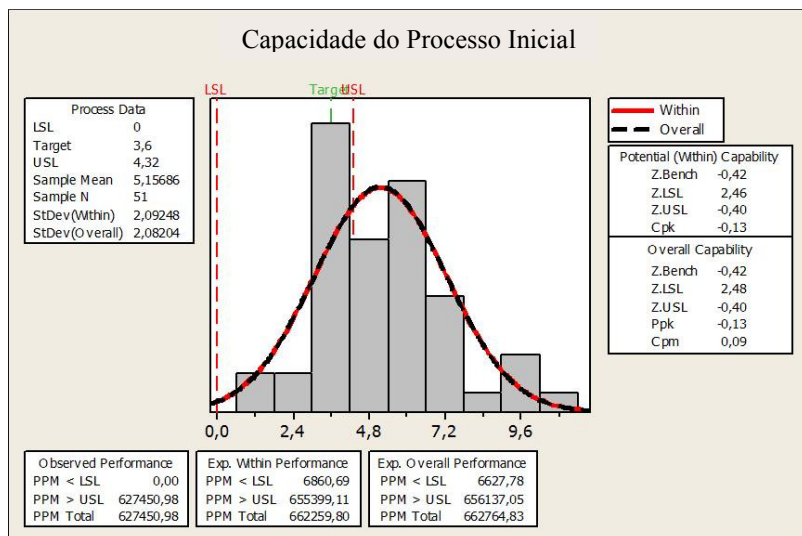


Figura 24 – Cálculo de nível sigma e DPMO da Divisão Pintura

A partir do resultado do software, ilustrado na Figura 24, constata-se que o nível sigma do estado atual na divisão Pintura é de 1,1. Assim como, defeitos por milhão de oportunidades do estado atual na divisão Pintura é de 662.764. Este valor é encontrado na parte inferior da Figura 24, nomeado “PPM Total” no quadro *Exp. Overall Performance*.

4.2.2 Módulo de Redução de Retrabalho

O módulo principal do método proposto, redução de retrabalho, foi apresentado à empresa como sugestão de solução para resolver os problemas apresentados nos indicadores oficiais da empresa.

Conforme proposto no método, o setor a ser escolhido para aplicação do método seria o de pior desempenho entre os indicadores da qualidade, portanto, como descrito e mostrado anteriormente setor escolhido foi da divisão Pintura.

Nas seções seguintes, descreve-se passo a passo de cada uma das etapas do ciclo DMAIC.

4.2.2.1 Definir

Conforme proposto no método esta etapa conta com cinco ferramentas e elas são: a Descrição do Projeto, a Voz do Cliente, o Mapa do Fluxo de Valor, o SIPOC e a Matriz de Causa e Efeito. A seguir é descrito cada um delas, e a forma como auxiliam na definição do problema ou oportunidade do projeto Seis Sigma. Todas as cinco ferramentas foram utilizadas com sucesso no estudo de caso aqui apresentado.

4.2.2.1.1 Descrição do Projeto

O projeto foi realizado no setor de pintura e tem como objetivo reduzir em 30% o nível de retrabalho. Todos os detalhes referentes ao projeto podem ser analisados na folha de descrição do projeto na Figura 25.

Um ponto importante a ressaltar foi que o projeto teve apoio da liderança do setor, visto que um coordenador de produção do setor participou do projeto do início ao fim.

Projeto :
Data / Início
Green Belt
Black Belt

Redução do Retrabalho na Revisão Final de Pintura
13-out-08
Marcelo Navarro Santos Coutinho
Alamir Raggio

Cronograma

100% concluído

Descrição do Problema

Desde janeiro de 2008 o índice de retrabalho dentro do processo produtivo de pintura das linhas de produção do segmento urbano é 100% e isso representa um custo anual de R\$ 858 mil

Objetivos do Projeto

Reduzir o índice de retrabalho do segmento urbano no setor de pintura em 30%

Métrica Operacional

Itens de retrabalho externo por carro

Métrica Financeira

Custo da revisão de pintura do segmento urbano (depois - antes)
* MOD (24)
* Hora Extra (24)
* Matéria-Prima (3,04% do total)
* Material Secundário (3,04% do total)
* Terceiros (3,04% do total)
Custo MO = 35.466 / mês (2008 até setembro)
Custo MP/MS/TERC = 16.057 / mês (2008 até setembro)

Linha de Impacto

Unidade

Matriz

Segmento

Aumento de vendas

Lucro operacional

Despesas Financeiras

Capex

Todos

SIM

SIM

SIM

SIM

SIM

SIM

NAO

NAO

NAO

NAO

NAO

NAO

Estimativa de Ganho

Planejado				Total
Jan	21.450	Jul	21.450	257.400
Fev	21.450	Ago	21.450	
Mar	21.450	Set	21.450	
Abr	21.450	Out	21.450	
Mai	21.450	Nov	21.450	
Jun	21.450	Dez	21.450	

Benefícios Não Mensuráveis

Satisfação dos colaboradores, clientes e acionistas
Ambiente de trabalho mais organizado

Time do Projeto

Analista Processo - Edison e Alessandra
Analista Lean - Karen
Coordenador - Celso
Dupont - Deise e Douglas

Comentário G. Produtividade

Benedito André Almeida Violante

Dono do Processo

Celso Gomes Larroyd
João Schmitz

Figura 25 – Folha de Descrição do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura

4.2.2.1.2 Voz do Cliente

A voz do cliente utilizou-se toda a informação que é coletada pelo departamento de marketing e é ilustrada na Figura 26. A constatação principal é a divisão Pintura é diretamente afetada pelo retrabalho em relação à Tempo, Qualidade e Custo, do ponto de vista do cliente. Percebe-se assim, ainda mais a importância de reduzir tal desperdício.

VOC		VOICE OF CUSTOMER	
			100% concluído
Tempo	Qualidade	Custo	
Alto lead time de produção Baixa confiabilidade de entrega Alta índice de absentismo Alto índice de falta de materiais comp. Alto índice de falta de materiais fab. Alto índice de falta de materiais plas. Erros de projeto de pintura Retrabalho - Foco	Falta de treinamento para MO Baixa manutenção de equipamentos Erros de projeto de pintura Fornecimento MP (tintas) Retrabalho - Foco	Fornecimento MP Alta hora extra Alto desperdício de MP e MS Alto lead time de produção Retrabalho - Foco	

Figura 26 – Voz do Cliente do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura

Nesta etapa os integrantes da equipe foram diretamente no setor colher informações para que a etapa fosse realizada com o maior detalhamento possível, assim como mostram as Figuras 27 e 28.



Figura 27 e 28 – Voz do Cliente realizada na área da Divisão de Pintura.

4.2.2.1.3 Mapa do Fluxo de Valor

O mapeamento de fluxo de valor foi realizado no sentido de conhecer com detalhes o sistema produtivo da divisão de Pintura. Com o mapa é possível conhecer as interações do fluxo de material e fluxo de informações. Um workshop de 40 horas foi realizado, neste workshop foi transmitida toda a teoria da ferramenta e realizado o mapa de fluxo de valor do estado atual com informações coletadas pela equipe no próprio chão de fábrica. O mapa de fluxo de valor da divisão de Pintura é ilustrado nas Figuras 29 e 31.



Figura 29 – Elaboração do Mapa de Fluxo de Valor da Divisão Pintura.

O mapa mostra a evidência dos desperdícios de retrabalho apresentados no setor, visto que 100% dos produtos finais da empresa retornam para o setor a fim de serem retrabalhados, assim como mostrado nas Figuras 30 e 32.



Figura 30 – Carros esperando Retrabalho na Divisão Pintura





Figura 32 – Área específica para realização do Retrabalho na Divisão Pintura.

4.2.2.1.4 SIPOC

O diagrama SIPOC do sistema produtivo da divisão de Pintura está demonstrado na Figura 33. O SIPOC é realizado via trabalho em equipe e contou com a experiência e conhecimento de cada integrante via *brainstorming*.

Basicamente foram definidos os fornecedores diretos, as entradas do sistema, ou seja, os tipos de retrabalho, o processo em si, as saídas e os clientes diretos e indiretos.

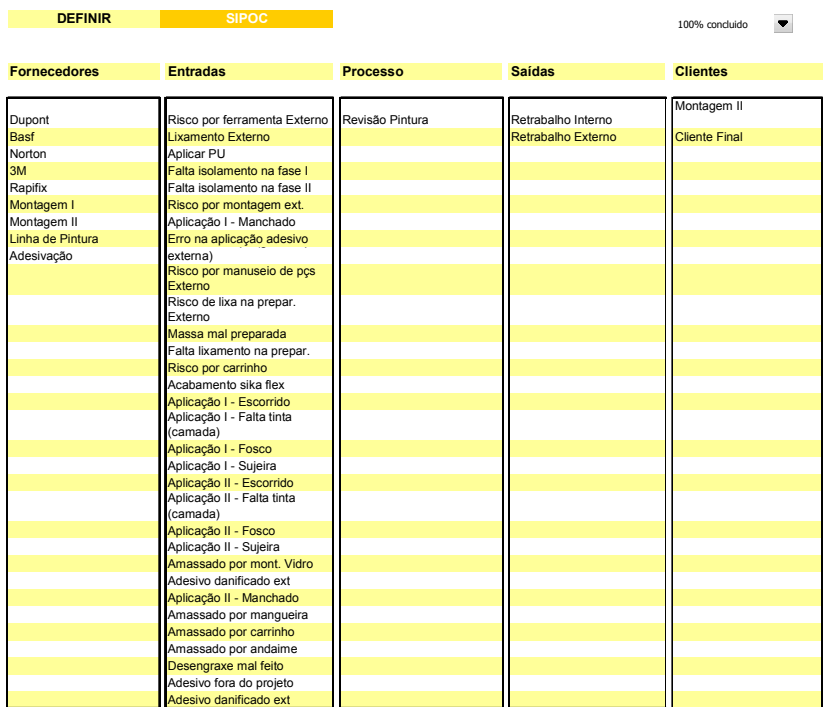


Figura 33 – Diagrama SIPOC do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura

4.2.2.1.5 Matriz de Causa e Efeito

Com o diagrama SIPOC finalizado, partiu-se para construção da matriz de causa e efeito com o objetivo relacionar como as entradas definidas afetam a saída. A matriz de causa e efeito do projeto é ilustrada na Figura 34.

MATRIZ CAUSA E EFEITO						
DEFINIR						
Classificação Importancia para o Cliente		Cronograma				
		100% concluido ▼				
Classificação Importancia para o Cliente		10				TOTAL
SAIDAS	INPUTS (x's)	Retrabalho				
Risco por ferramenta	9					90
Aplicar PU	9					90
Falta isolamento na fase I	9					90
Falta isolamento na fase II	9					90
Risco por montagem ext.	9					90
Aplicação I - Manchado	9					90
Erro na aplicação adesivo	9					90
Carro no tempo (gera limpeza externa)	9					90
Lixamento	4					40
Risco por manuseio de pcs	4					40
Risco de lixa na prepar.	4					40
Massa mal preparada	4					40
Falta lixamento na prepar.	4					40
Risco por carrinho	4					40
Acabamento sika flex	4					40
Aplicação I - Escorrido	4					40
Aplicação I - Falta tinta (camada)	4					40
Aplicação I - Fosco	4					40
Aplicação I - Sujeira	4					40
Aplicação II - Escorrido	4					40
Aplicação II - Falta tinta (camada)	4					40
Aplicação II - Fosco	4					40
Aplicação II - Sujeira	4					40
Amassado por mont. Vidro	4					40
Adesivo danificado ext	4					40
Amassado por mont. Vidro	4					40
Adesivo danificado ext	4					40
Aplicação II - Manchado	1					10
Amassado por mangueira	1					10
Amassado por carrinho	1					10
Amassado por andalme	1					10
Desengraxe mal feito	1					10
Adesivo fora do projeto	1					10

pareto

6%

12%

18%

23%

25%

35%

41%

47%

49%

52%

55%

57%

60%

62%

65%

68%

70%

73%

75%

78%

81%

83%

86%

88%

91%

94%

96%

97%

98%

99%

99%

100%

Figura 34 – Matriz de Causa e Efeito do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura

O resultado da matriz de causa e efeito é a constatação das principais variáveis que afetam o sistema produtivo da divisão de pintura. Pode-se notar que oito das trinta e três entradas causam aproximadamente 50% do total de retrabalho no setor. A seguir, as Figuras 35, 36 e 37 mostram evidências de alguns tipos de retrabalho.



Figura 35 – Retrabalho por Falta de Tinta na Aplicação I na Divisão de Pintura



Figura 36 – Retrabalho por Falta de Isolamento na Fase I da Divisão de Pintura



Figura 37 – Retrabalho por Escorrido na Aplicação I da Divisão de Pintura

4.2.2.2 Medir

Conforme proposto no método, o planejamento do processo de medição visa criar uma folha de coleta de dados, que toma como base as entradas estabelecidas no diagrama SIPOC. A folha de coleta de dados que foi utilizada neste projeto é ilustrada na Tabela 6.

Tabela 6 - Folha de Coleta de Dados do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura

MEDIR		COLETA DE DADOS												
Inspetor Qualidade		Data										Turno		
Item		Certo												
I N T E R N O	Risco por ferramenta Interno													
	Adesivo danificado interno													
	Carro com sujeira interna													
	Lixamento Interno													
	Pq fibra trincada por mont.													
	Risco de lixa na prepar. Interno													
E X T E R N O	Risco por montagem interna													
	Acabamento alta flex													
	Adesivo danificado ext													
	Adesivo fora do projeto													
	Amassado em geral													
	Aplicação I - Escorrido													
	Aplicação I - Falta tinta (camada)													
	Aplicação I - Fosco													
	Aplicação I - Manchado													
	Aplicação I - Sujeteira													
	Aplicação II - Escorrido													
	Aplicação II - Falta tinta (camada)													
	Aplicação II - Fosco													
	Aplicação II - Manchado													
	Aplicação II - Sujeteira													
	Respingo PU													
	Limpeza interna antes da revisão final pintura													
	Tinta Desplacando (desengraxe mal feito)													
Casca de laranja														
Fermentação														
Erro na aplicação adesivo														
Falta isolamento na fase I														
Falta isolamento na fase II														
Falta lixamento na prepar.														
Lixamento Externo														
Retrato de massa														
Risco em geral														
Total														

O plano de amostragem foi definido de acordo com o tamanho mínimo aceitável para dados por atributo, definido por:

$$n = \left(\frac{z}{precisão}\right)^2 \times [Proporção\ de\ defeito \times (1 - Proporção\ de\ defeito)] \quad \text{(Equação 4-2)}$$

Como a proporção de defeitos oriunda do indicador de desempenho LAP era 20,9% no setor de Pintura, e o objetivo do trabalho é reduzir em 30% o retrabalho, então a precisão será 14,6%. Resultando em n = 30,89, isto é, o tamanho mínimo da amostra deve ser 31. Na tabela 7 são apresentados os dados colhidos na empresa.

Tabela 7 - Dados da Amostra Antes do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura

Amostra	Qty Retrabalho
1	6
2	6
3	6
4	8
5	3
6	6
7	6
8	6
9	9
10	5
11	4
12	5
13	5
14	11
15	6
16	7
17	6
18	7
19	9
20	9
21	7
22	6
23	5
24	7
25	4
26	5
27	2
28	5
29	5
30	7
31	7
32	1
33	1
34	2
35	3
36	3
37	3
38	3
39	3
40	5
41	6
42	6
43	4
44	4
45	4
46	4
47	6
48	4
49	5
50	3
51	3

Novamente, as duas etapas propostas no modelo foram utilizadas com sucesso no estudo de caso.

4.2.2.3 Analisar

Conforme o método proposto nesta dissertação, são levados em conta três aspectos relevantes no procedimento de análise: uma análise estatística do processo, capacidade inicial do processo e finalmente o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*). Todas as ferramentas foram utilizadas com sucesso no estudo de caso aqui apresentado.

4.2.2.3.1 Análise Estatística do Processo

Com a posse dos dados coletados pela equipe de melhoria, foi iniciada a análise estatística do processo. Para isso foi utilizado o software de apoio, o qual gerou o teste de normalidade, histograma, diagrama de Pareto e análise de tendência.

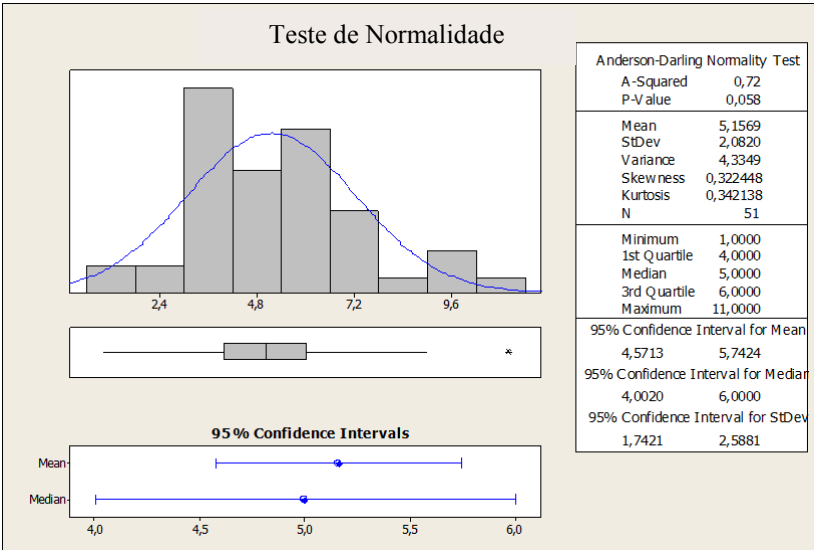


Figura 38 – Teste de Normalidade do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura

Por definição estatística, para uma amostra de dados ser considerada uma distribuição normal, o valor de ‘P’ deve ser maior que

0,05. Na parte superior direita da Figura 38, percebe-se que o valor de P é 0,058, ou seja, maior que 0,05. Então pode-se considerar que a amostra é uma distribuição normal, e com isso pode-se aplicar as demais ferramentas propostas no método.

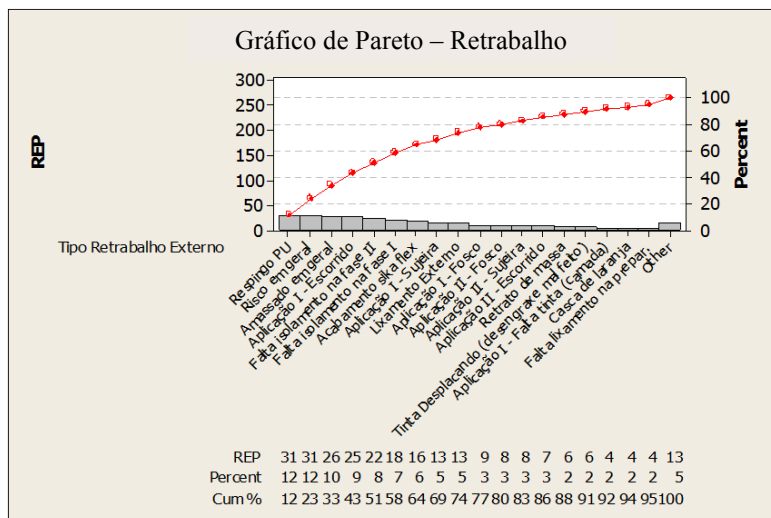


Figura 39 – Diagrama de Pareto do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura

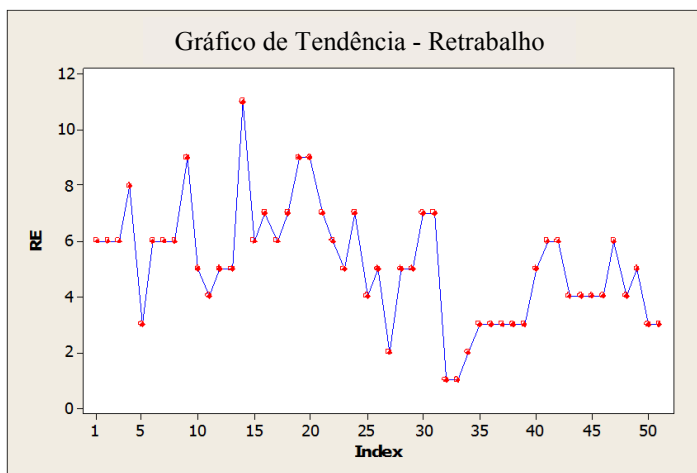


Figura 40 – Gráfico de Tendência do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura

Na Figura 40, na qual é ilustrado o gráfico de tendência, é possível constatar que não existe tendência alguma no sistema produtivo do projeto.

4.2.2.3.2 Capacidade do Processo

A capacidade inicial do processo é ilustrada na Figura 24, que foi primeiramente mostrada na seção 4.2.1. A conclusão em relação à capacidade inicial, assim como todos os outros dados revelados no projeto, foi que o sistema produtivo da divisão pintura realmente tem muito a melhorar em relação ao desperdício retrabalho.

4.2.2.3.3 FMEA

A ferramenta FMEA foi utilizada com objetivo de encontrar soluções para reduzir o desperdício de retrabalho no sistema produtivo da divisão de pintura. O resultado é ilustrado na Figura 41.

Basicamente as ações sugeridas e que seguiram para o plano de melhoria foram:

- Treinamento de Sensibilização para Divisão Pintura;
- Treinamento de Sensibilização para Divisão Montagem Final;
- Introdução do Controle de Qualidade na liberação de Pintura;
- Plano de Manutenção; e
- Plano de 5'S.

ANALISAR		FMEA		100% concluído															
ATIVIDADE DO PROCESSO	MODO DE FALHA	EFEITO (resultado)	CAUSAS	CONTROLE ATUAL	Severidade	Detecção	Prevenção	RPN	ESTRATEGIA	AÇÕES RECOMENDADAS	RESPONSÁVEL								
Pintura	Falta isolamento na fase I	Limpeza	Falta treinamento	Não há	7	8	4	224	Eliminar	Treinamento de sensibilização	Edison, Deise								
			Descuido	Não há	7	8	4	224	Eliminar	Treinamento de sensibilização	Edison, Deise								
Pintura	Falta isolamento na fase II	Limpeza	Falta treinamento	Não há	7	8	4	224	Eliminar	Treinamento de sensibilização	Edison, Deise								
			Descuido	Não há	7	8	4	224	Eliminar	Treinamento de sensibilização	Edison, Deise								
Montagem II	Amassado por mont. Vidro	Repintura	Descuido	Não há	8	9	3	216	Eliminar	Treinamento de sensibilização	Coutinho, Karen								
			Sistema de montagem	Não há	8	9	3	216	Mitigar	Elaborar estudo	Equipe								
Pintura	Massa mal preparada	Repintura	Descuido	Não há	7	8	3	168	Eliminar	Treinamento de sensibilização	Edison, Deise								
Pintura	Aplicação I - Falta tinta (camada)	Repintura	Aplicação mal feita	Não há	7	7	3	147	Eliminar	Treinamento	Edison, Deise								
			Produto mal preparado	Não há	7	7	3	147	Eliminar	Treinamento	Edison, Deise								
Pintura	Aplicação II - Falta tinta (camada)	Repintura	Aplicação mal feita	Não há	7	7	3	147	Eliminar	Treinamento	Edison, Deise								
			Produto mal preparado	Não há	7	7	3	147	Eliminar	Treinamento	Edison, Deise								
Montagem II	Risco em geral	Repintura	Descuido	Não há	8	9	2	144	Eliminar	Treinamento de sensibilização	Coutinho, Karen								
			Falta limitador	Não há	8	9	2	144	Eliminar	Elaborar limitador	Karen								
			Posição montagem	Não há	8	9	2	144	Mitigar	Treinamento de sensibilização	Coutinho, Karen								
			Ferramenta inadequada	Não há	8	9	2	144	Eliminar	Treinamento de sensibilização	Coutinho, Karen								
Pintura	Risco de lixa na preparação	Repintura	Descuido	Não há	6	8	3	144	Eliminar	Treinamento de sensibilização	Edison, Deise								
Montagem II	Lixamento	Repintura	Peça fora de medida	Não há	8	8	2	128	Mitigar	Corrigir projetos e gabaritos	Equipe								
			Falta instrução / padrão de qualidade	Não há	8	8	2	128	Eliminar	Elaborar instrução / padrão de qualidade	Adilson, Coutinho, Edison								
Pintura	Falta lixamento na prepar	Repintura	Descuido	Não há	7	8	2	112	Eliminar	Treinamento de sensibilização	Edison, Deise								
Montagem II	Acabamento silica flex	Limpeza	Descuido	Não há	6	8	2	96	Eliminar	Treinamento de sensibilização	Edison, Deise								
			Falta instrução / padrão de qualidade	Não há	6	8	2	96	Eliminar	Elaborar instrução / padrão de qualidade	Adilson, Coutinho, Edison								
Montagem II	Aplicar PU	Repintura	Falta isolamento	Não há	8	9	1	72	Eliminar	Treinamento de sensibilização	Coutinho, Karen								
Pintura	Aplicação I - Escorrido	Repintura	Aplicação mal feita	Não há	8	9	1	72	Mitigar	Treinamento CTO	Edison, Deise								
Pintura	Aplicação I - Fosco	Repintura	Aplicação mal feita	Não há	8	8	1	64	Mitigar	Treinamento CTO	Edison, Deise								
Pintura	Aplicação II - Escorrido	Repintura	Aplicação mal feita	Não há	8	8	1	64	Mitigar	Treinamento CTO	Edison, Deise								
Pintura	Aplicação II - Fosco	Repintura	Aplicação mal feita	Não há	8	8	1	64	Mitigar	Treinamento CTO	Edison, Deise								
Pintura	Aplicação I - Manchado	Repintura	Produto mal preparado	Não há	8	7	1	56	Eliminar	Treinamento	Edison, Deise								
			Aplicação mal feita	Não há	8	7	1	56	Eliminar	Treinamento	Edison, Deise								
Pintura	Aplicação I - Sujeta	Repintura	Condição do ambiente de trabalho	Não há	7	8	1	56	Mitigar	Plano Manutenção e 5S	Alexandra								
Pintura	Aplicação II - Sujeta ext	Repintura	Condição do ambiente de trabalho	Não há	7	8	1	56	Mitigar	Plano Manutenção e 5S	Alexandra								
Pintura		Readesivação	Descuido	Não há	8	7	1	56	Eliminar	Treinamento de sensibilização	Edison, Deise								
Montagem II	Carro no tempo (gera limpeza externa)	Limpeza	Retrabalho de pintura	Não há	4	7	1	28	Mitigar	Elaborar estudo	Equipe								
Pintura	Erro na aplicação adesivo	Readesivação	Descuido	Não há	8	1	1	8	Eliminar	Treinamento de sensibilização	Edison, Deise								

Figura 41 – FMEA do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura

4.2.2.4 Melhorar

Conforme proposto no método, na fase de melhoria basicamente ocorrem dois eventos, a elaboração do planejamento das melhorias e a implementação das mesmas. O planejamento das melhorias é resultado das ações observadas no FMEA e está ilustrado na Figura 42.


MELHORAR	Plano de Melhorias		100% concluído 
ATIVIDADE DO PROCESSO	DETALHE	PRAZO	RESPONSÁVEL
Treinamento de Sensibilização da Pintura	Apresentação aos líderes e colaboradores envolvidos sobre padrões de qualidade e sua importância	jan/09	Edison e Deise
Treinamento de Sensibilização da Montagem 2	Apresentação aos líderes e colaboradores envolvidos sobre padrões de qualidade e sua importância	jan/09	Karen e Coutinho
Introdução do Controle de Qualidade na liberação da Pintura	Controle de qualidade para inspecionar o carro e se necessário revisar para liberação da pintura	jan/09	Celso e Edison
Plano de Manutenção e 5S	Elaborar planejamento para ações de manutenção preventiva e 5S, assim como auditorias periódicas	jan/09	Coutinho

Figura 42 – Plano de Melhorias do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura

Por fim, com o plano de melhorias pronto, ocorreu a implementação das soluções, como evidenciado nas Figuras 43 e 44.



Figura 43 – Treinamento de Sensibilização na Divisão Pintura



Figura 44 – Slide do Treinamento de Sensibilização para as Divisões de Montagem

4.2.2.5 Controlar

Na última etapa do ciclo DMAIC foram aplicadas apenas duas das três ferramentas propostas, visto que o diagrama de solução de problemas não se mostrou necessário na primeira amostra de dados coletados após a implementação das melhorias.

4.2.2.5.1 Controle Estatístico de Processo

Na Figura 45 é mostrado o gráfico de controle estatístico de processo, além do virtual o mesmo gráfico encontra-se fisicamente no chão de fábrica da divisão de Pintura. É possível perceber que nenhum ponto da amostra encontra-se fora do limite estabelecido pelo projeto.

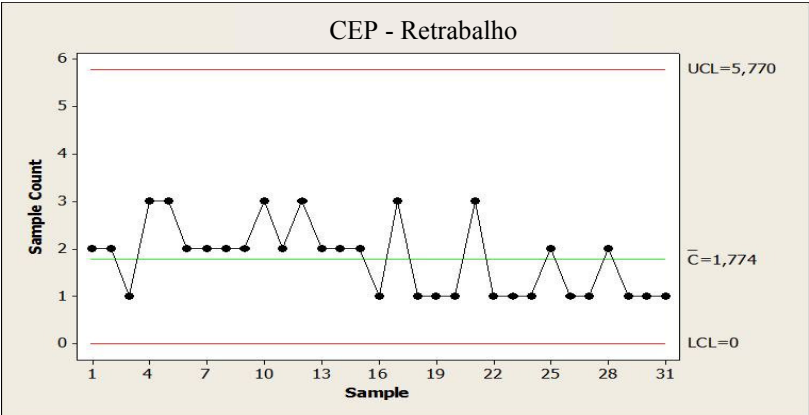


Figura 45 – Gráfico de Controle Estatístico de Processo do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura

4.2.2.5.2 Plano de Controle

O plano de controle, conforme proposto no método é ilustrado na Figura 46.

PLANO DE CONTROLE					
Característica a acompanhar - KPI (métrica operacional)	Método de Medição	Quem mede	Onde será registrado	Ação corretiva	Auditoria
Itens de retrabalho por carro	Check list	Inspetores da Qualidade	Arquivo excel	A equipe responsável pelo projeto tem reuniões periódicas terças e quintas e deverá ser informada pelos inspetores da qualidade no caso de itens de retrabalho superarem o limite estabelecido no projeto.	A cada mês será retirada uma amostra de 20 carros para checagem

Figura 46 – Plano de Controle do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura

4.2.2.5.3 Capacidade Final do Modelo Proposto.

Com o mesmo padrão que foi calculada a capacidade inicial do processo, através do software Minitab, com a posse da amostra realizada após os quatro meses de implementação das melhorias, foi realizado o cálculo novamente, conforme ilustrado na Figura 47 e dados na Tabela 8. Neste momento o módulo de indicadores de desempenho é novamente abastecido com informações referentes às melhorias implementadas no sistema produtivo.

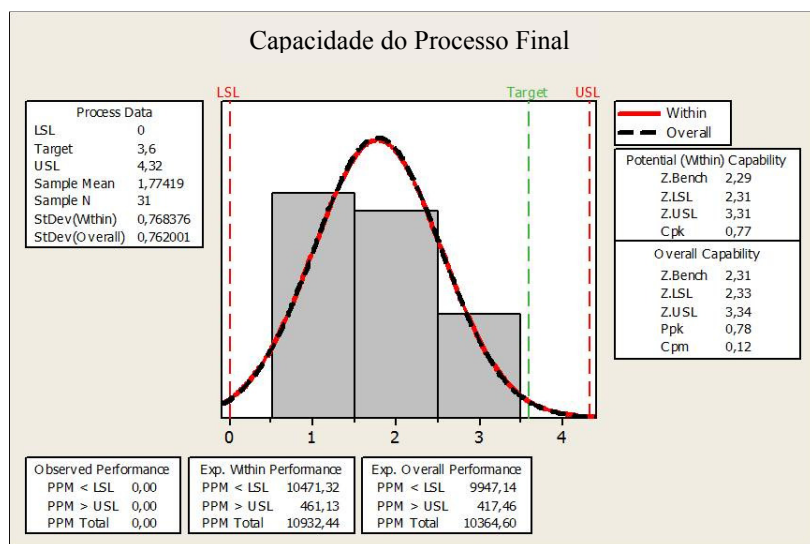


Figura 47 – Capacidade Final do Processo do Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura

A leitura da Figura 47 é realizada da mesma maneira que foi apresentado na seção 4.2.1. Observa-se que o nível sigma é de 3,9 contra 1,1, assim como DPMO baixou para 10.364 contra 662.764, inicialmente. Além disso, a média de retrabalho por produto final baixou de 5,15 para 1,77, o que representa uma redução de 65,6% no nível de retrabalho na divisão de Pintura. Conforme visualizado na Figura 48, o espaço para retrabalho que existia anteriormente não é mais totalmente utilizado. Além disso, não há mais esperas de carros para serem retrabalhados fora do sistema produtivo como mostrado na Figura 30.

Tabela 8 – Dados da Amostra Após o Projeto de Redução de Retrabalho na Divisão de Pintura

Amostra	Qty Retrabalho
1	2
2	2
3	1
4	3
5	3
6	2
7	2
8	2
9	2
10	3
11	2
12	3
13	2
14	2
15	2
16	1
17	3
18	1
19	1
20	1
21	3
22	1
23	1
24	1
25	2
26	1
27	1
28	2
29	1
30	1
31	1



Figura 48 – Área específica para realização do Retrabalho na Divisão Pintura.

Os resultados da aplicação deste estudo de caso serão detalhados nas considerações finais desta dissertação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O último capítulo desta dissertação apresenta as considerações finais e é dividido em três seções. A primeira é realizada uma avaliação do método proposto nesta dissertação, o segundo são apresentadas as conclusões e por último as sugestões para trabalhos futuros.

Assim como explanado na introdução desta dissertação, a metodologia seis sigma vem sendo implementada em ambientes diferentes do originalmente desenvolvido, ou seja, sistemas produtivos com baixa padronização, baixa repetibilidade e processos predominantemente manuais.

O método desenvolvido nesta dissertação procurou responder a pergunta de como solucionar o problema dos altos níveis de falhas em ambientes com baixa padronização, baixa repetibilidade de processo, alta dependência de especialidade técnica da mão-de-obra no processo de transformação de sistemas produtivos, através da metodologia Seis Sigma e suas ferramentas.

Conforme apresentado no terceiro capítulo desta dissertação, o método contempla dois pontos-chaves. O primeiro módulo, indicador de desempenho, procura determinar setores críticos e posicionar os setores da empresa quanto ao nível sigma mundialmente conhecido e estudado, que por sua vez também determina a quantidade de defeitos por milhão de oportunidades (DPMO). O segundo módulo, estratégia DMAIC, que aplica a metodologia Seis Sigma com cada um dos seus cinco passos: definir, medir, analisar, melhorar e controlar. Ao final do ciclo DMAIC proposto, ocorre a introdução do controle estatístico de processo, que por sua vez alimenta o módulo de indicadores de desempenho na seção seis sigma.

5.1 AVALIAÇÃO DO MÉTODO

A aplicação do método elaborado foi seguido na sequência proposta no terceiro capítulo desta dissertação, assim como foi mostrado do estudo de caso apresentado no quarto capítulo.

O ambiente encontrado para aplicação do método é muito peculiar. Além do exposto anteriormente, o sistema produtivo estudado tinha uma cultura enraizada nas pessoas que poderia dificultar a aplicação do método, pessoas acostumadas a trabalhar sempre da mesma maneira e resistentes à mudança para melhoria do sistema. Um ambiente que depende quase exclusivamente da qualidade e capacitação da mão de obra, com alto nível de flexibilidade e de ocorrência de falhas.

Estas variáveis extras foram levadas em consideração visto que duas das quatro grandes iniciativas foram conscientizar e sensibilizar as pessoas sobre a importância e responsabilidade delas mesmas no resultado final do sistema produtivo e conseqüentemente no projeto implementado. Assim como mostrar a importância de seguir o plano de manutenção e 5S que já eram práticas da empresa

O sistema produtivo em si, foi modificado acrescentando-se uma inspeção final, ou seja, foi introduzido o controle de qualidade no final do departamento de pintura. Então, a partir do projeto, 100% dos produtos são inspecionados antes de seguir para o próximo processo. Além da inspeção, o controle de qualidade gera relatórios que auxiliam no controle da efetividade do projeto.

Os resultados atingidos pela aplicação do método foram superiores ao objetivo estabelecido, isso pode ser explicado em decorrência de ser o primeiro projeto realizado na empresa utilizando a metodologia Seis Sigma. Na tabela 9 é apresentada uma comparação entre a situação original antes do projeto e a situação encontrada após a execução do projeto.

Tabela 9 - Comparativo da efetividade do projeto

Indicadores	Antes do projeto	Após o projeto
% Média de falhas por oportunidades	19,07%	6,55%
DPMO	666.764	10.364
Nível Sigma do sistema	1,1	3,9
Redução custo anual (R\$ mil)	-	494

Como pode-se observar na tabela 9 os resultados foram além das expectativas iniciais de reduzir em 30% o nível de retrabalho e com isso alcançar uma redução de custo anual de R\$ 257 mil. Nota-se de a redução de falhas por oportunidade foi de 65%, de 19,07% para 6,55% e a redução de custo anual foi de R\$ 494 mil. Os indicadores estatísticos também tiveram uma melhora considerável, visto que o nível sigma do sistema produtivo foi de 1,1 para 3,9 e o DPMO caiu de 666.764 para 10.364.

Ressalta-se aqui que os resultados da aplicação do método proposto, ilustrado na Figura 49, foram gerados por um conjunto de ações realizadas de maneira integrada e direcionada para a minimização da variabilidade do sistema produtivo, acarretando num menor índice de falhas e conseqüentemente menor custo.

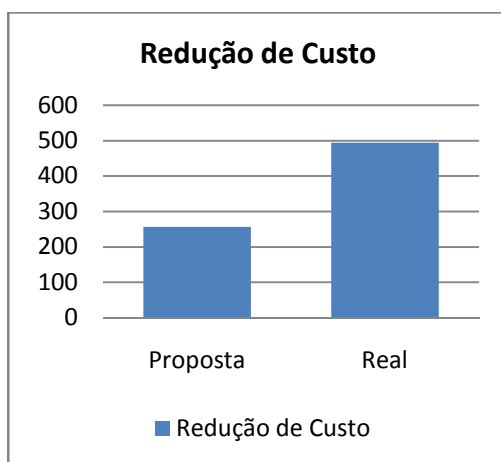


Figura 49 – Resultado Financeiro

É importante ressaltar que recomenda-se aplicar o método proposto, após a identificação de problemas a serem resolvidos através da redução de falhas do sistema produtivo, gerando uma melhora nos resultados financeiros da empresa. Pode-se destacar também a necessidade do método ser aplicado por uma equipe, na qual a participação do dono do processo, da engenharia do processo, da qualidade do produto e da manufatura, são fundamentais para que sejam estabelecidas ações que proporcionem uma otimização do sistema produtivos, sob pontos de vista diversos.

O ponto mais importante é que o método mostrou que suporta a aplicação em ambientes como o da empresa no qual foi implementado. Uma empresa com sistema produtivo flexível, com baixo nível de automação e alta variabilidade de processo. Então, além dos sistemas tradicionalmente repetitivos e de alto volume no qual foram desenvolvidos os métodos de produção enxuta e metodologia seis sigma, foi possível constatar que em especial a metodologia seis sigma pode ser aplicada e sustentada em ambientes diferentes.

5.2 CONCLUSÃO

Esta dissertação procurou, ao longo de seu desenvolvimento, propor um método que objetiva reduzir as falhas em ordem de elevar a eficiência de sistemas produtivos. Conforme descrito na introdução desta dissertação, o trabalho tem seu objetivo geral e alguns objetivos específicos como demonstrados a seguir:

O objetivo geral desta dissertação foi aplicar o método DMAIC para detecção e redução de falhas em sistema de produção, baseado na metodologia Seis Sigma e apoiado nas práticas básicas de indicadores de desempenho.

Para se atingir este objetivo geral, torna-se necessário responder a questões associadas à aplicação da metodologia proposta e ao impacto de sua implantação nos resultados alcançados pela empresa. Sendo assim, os objetivos específicos deste trabalho, podem ser resumidos em:

- Verificar a utilização da aplicação da metodologia do Seis Sigma como forma de reduzir os falhas do sistema produtivo,

- Verificar a adaptação do método DMAIC em sistemas produtivos flexíveis, com baixo nível de automação e alta variabilidade de processos;
- Verificar a eficiência e resultados do método DMAIC;
- Verificar a relação do método entre os indicadores de desempenho e a metodologia Seis Sigma.

É possível afirmar que os objetivos geral e específicos foram atendidos, nota-se que o método mostrado no terceiro capítulo se mostrou adaptável em ambientes industriais de manufatura, com alto nível de flexibilidade, com baixo nível de automação e alta variabilidade de processo, conforme analisado na seção anterior.

Quanto aos objetivos específicos, também é possível afirmar que foram alcançados, visto que o método de aplicação da metodologia seis sigma foi eficaz na redução de falhas, em especial ao retrabalho, conforme mostrado no estudo de caso apresentado no quarto capítulo.

O segundo objetivo específico também foi alcançado em vista do ambiente do departamento de pintura da empresa em questão que contempla características únicas quanto à flexibilidade de projetos, dependência de mão-de-obra especializada, atividades estritamente manual dependentes da habilidade dos operadores, além de ser uma sistema com muitas variáveis susceptíveis à ocorrência do desperdício de retrabalho.

O terceiro objetivo específico foi atendido e assim como mostrado na seção anterior, os resultados, ou seja, a eficiência do método foram além das expectativas.

Por último, foram conciliadas as práticas de indicadores de desempenho com o método proposto, visto que os módulos relacionam-se entre si, assim como mostrado no estudo de caso apresentado no quarto capítulo.

O direcionamento conceitual do seis sigma tem sido para implantação em processos onde os principais benefícios possam ser medidos sob a forma de retorno financeiro, normalmente no que se diz respeito a aumento de faturamento ou redução de custos. Neste trabalho se verificou a aplicação efetiva do seis sigma na redução de custos

variáveis, principalmente aqueles relacionados a consumo de materiais e mão de obra, visto que o objetivo principal foi reduzir falhas do sistema produtivo.

Por fim, recomenda-se para projetos de melhoria numa empresa industrial de manufatura com baixo nível de automatização e flexível, que quatro pontos relevantes sejam considerados:

- Antes de se estabelecer um projeto em uma indústria deve ser avaliado o impacto financeiro do mesmo nos resultados da empresa;
- O projeto deve ser executado por uma equipe multifuncional e de diferentes níveis hierárquicos;
- O projeto deve ter suporte da alta liderança da empresa;
- Após a realização de um projeto de melhoria os resultados devem ser divulgados de maneira a incentivar o estabelecimento de novos projetos.

5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para trabalhos futuros a serem aplicados ao modelo de redução de retrabalho em sistemas produtivos, para recomendar a sua evolução:

- Ampliar o método para aplicações com mais variáveis de saída, torna o projeto mais complexo e igualmente mais desafiador para as equipes de melhoria;
- O método foi aplicado em projetos a médio e curto prazo, dessa maneira poderia ser aplicado em projetos a longo prazo, que representem maiores mudanças dentro do sistema produtivo, avaliando os resultados obtidos e agregando ferramentas que dêem suporte ao desenvolvimento do projeto;
- O método proposto foi formulado para processos de manufatura, muitas das ferramentas aplicam-se a empresas de serviços nas quais poderia ser reavaliado;
- O método foi aplicado em uma empresa de manufatura de baixo grau de automação, o modelo proposto poderia ser aplicado ou readaptado para empresas de manufatura com graus de automatização médio e alto;

- A característica dos dados da aplicação do método apresentado é por atributos (qualitativos), da mesma forma o método poderia ser readaptado para dados com característica variáveis (quantitativos).

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9000: **Sistemas de Gestão da Qualidade – Fundamentos e Vocabulário**. Rio de Janeiro, Dezembro de 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 9004: **Sistemas de Gestão da Qualidade – Diretrizes para melhorias de Desempenho**. Rio de Janeiro, Dezembro de 2000.

BARNEY, M. *Motorola's Second Generation: Six Sigma Forum Magazine*, American Society for Quality, Vol 1, Nº 3, Milwaukee, May de 2002.

BREYFOGLE III, Forrest W. et al. – *Wisdom on the green – Smarter six sigma business solutions*, 1st ed. Texas: Quality Books, 2001.

BREYFOGLE III, Forrest W. – *Implementing Six Sigma*, 2nd ed. New Jersey: John Wiley & sons, Inc. 2003.

CAMPOS, V. Qualidade Total: **Padronização de Empresas**. 4ª Edição. Fundação Chistiano Ottoni, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1992.

CAMPOS, V. TQC, **Controle da Qualidade Total**: (No Estilo Japonês) Empresas. 5ª Edição. Fundação Chistiano Ottoni, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1992.

CORONADO, R.B., ANTONY, J. *Critical success factors for the successful implementation of Six Sigma projects in Organizations*. The TQM Magazine, v.14, pp. 92-99, no.2, 2002.

ECKES, George - **A revolução Seis Sigma**: o método que levou a GE e outras empresas a transformar processos em lucros, Rio de Janeiro: Campus, 1^o edição, 2001.

GARRIDO, A. **Seis Sigma: Uma metodologia em Constante Evolução**. Revista Banas Qualidade, Maio 2005.

HARRY, Mikel & SCHROEDER, Richard - *Six Sigma: The breakthrough management strategy revolutionizing the world's top corporations*, New York: Randon House 1st edition, 2000.

HARRY, M. *The Vision of Six Sigma: A Roadmap for Breakthrough*: Fourth Ed. Sigma Publishing Co. Arizona, USA, 1994.

HINES, P.; TAYLOR, D. *Going Lean. A guide to implementation*. Lean Enterprise Research Center, Cardiff, UK, 2000.

HSM Management, **Seis Sigma: Perguntas mais frequentes sobre o Seis Sigma**. São Paulo: HSM do Brasil, n. 38, 2004. Disponível em <http://www.companyweb.com.br/lista_artigos.cfm?id_artigo=62>. Acesso em: julho de 2010.

KUME, H. **Métodos Estatísticos para Melhoria da Qualidade**: 11a edição, Editora Gente, São Paulo, 1993.

LÉXICO LEAN. **Glossário ilustrado para praticantes do Pensamento Lean**. Lean Institute Brasil. São Paulo, SP. 2007.

LYNCH, D. P., BERTOLINO, S., CLOUTIER E.T., *How to Scope DMAIC Projects*. Quality Progress, 36, pp. 37-41, jan.2003.

LIKER, J.K. **O modelo Toyota**: 14 princípios de gestão do maior fabricante do mundo. Porto Alegre : Bookman, 2005.

LUCERO, A. **Um Método para Desenvolvimento de Medidas de Desempenho como Suporte à Gestão Operacional do Processo de Manufatura**. Qualificação (Doutorado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MIYOSHI, J. **Avaliação do Desempenho de Sistemas Logísticos através do Seis Sigma e do Balanced Scorecard**: Revista da FAE Vol 6 Nº 2, p 113 – 124 maio/dezembro de 2003.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção**: além da produção em larga escala. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PANDE, Peter S. et al - **Estratégia Seis Sigma**: como a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho, Rio de Janeiro: Qualitymark 1º edição, 2001.

PANDE, P; NEUMAN, R; CAVANAGH, R. **Estratégia Seis Sigma**: Como a GE, a Motorola e outras grandes empresas estão aguçando seu desempenho: Qualitymark Ed, Rio Janeiro, 2004

PEREZ-WILSON, M. **Seis Sigma**: Compreendendo o Conceito, as Implicações e os Desafios: Qualitymark Ed. Rio de Janeiro, 2000.

RASIS, D., GITLOW, H.S., POPOVICH, E. **Paper Organizers International: A Fictitious Six Sigma Green Belt Case Study I**. Quality Engineering, 15 (1), pp.127-145, 2002.

RATH & STRAONG (Org.). **Six Sigma Pocket Guide**. 2. ed. Lexington, 2001.

ROTHER, M.; SHOOK, J. **Aprendendo a enxergar** – mapeando o fluxo de valor para agregar valor e eliminar o desperdício. São Paulo: Lean Institute Brasil. 2003.

RIVAS, M. **Gestão em Seis Sigma** – Formação de Green Belt. Florianópolis: White Martins. 2008.

SHINGO, S. **O sistema Toyota de produção do ponto de vista da engenharia de produção**. 2 ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996.

SLACK, N. *et al.* **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

WERKEMA, M.C.C. **Seis Sigma – Passo a Passo**. Disponível em <http://www.simpep.feb.unesp.br/palestra_3.ppt>. Acesso em: julho de 2010.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**. Campus, Rio de Janeiro, 1992.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T. **A mentalidade enxuta nas empresas: elimine o desperdício e crie riqueza**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo**: baseado no estudo do Massachusetts Institute of Technology sobre o futuro do automóvel. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

APÊNDICE I – TABELA DE CONVERSÃO SEIS SIGMA

Rendimento	DPMO	SIGMA
0	1000000	0
3,248	967515,5	0,1
6,559	934409,3	0,3
9,99	900101,7	0,4
13,591	864094,8	0,5
17,399	826006,3	0,6
21,44	785597,2	0,8
25,721	742789,0	0,9
30,233	697672,2	1,0
34,95	650502,2	1,1
39,831	601686,1	1,3
44,824	551758,5	1,4
49,865	501350,0	1,5
54,886	451150,8	1,6
59,813	401870,8	1,8
64,58	354199,4	1,9
69,123	308770,2	2,0
73,387	266130,0	2,1
77,328	226715,7	2,3
80,916	190840,2	2,4
84,131	158687,0	2,5
86,969	130313,1	2,6
89,434	105660,5	2,8
91,543	84571,9	2,9
93,319	66810,6	3,0
94,792	52083,1	3,1
95,994	40060,1	3,3
96,96	30396,8	3,4
97,725	22750,4	3,5
98,321	16793,4	3,6
98,778	12224,5	3,8
99,123	8774,5	3,9
99,379	6209,7	4,0
99,567	4332,5	4,1
99,702	2979,8	4,3
99,798	2020,2	4,4
99,865	1350,0	4,5
99,911	889,1	4,6
99,942	577,1	4,8
99,963	369,1	4,9
99,977	232,7	5,0
99,986	144,5	5,1
99,991	88,4	5,3
99,995	53,3	5,4
99,997	31,7	5,5
99,998	18,6	5,6
99,999	10,7	5,8
99,999	6,1	5,9
100	3,4	6,0